

ISSN : 2586-8101

ISSN : 2697-6447 (Online)



JSci&Tech
RMUTSB

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร.สุวรรณภูมิ

Journal of Science and Technology **RMUTSB**

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มทร.สุวรรณภูมิ

ชื่อหนังสือ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ (Journal of science and technology RMUTSB)

Print ISSN: 2586-8101

Online ISSN: 2697-6447

เจ้าของ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

วัตถุประสงค์และขอบเขต

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ เป็นวารสารด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ราย 4 เดือน (ปีละ 3 ฉบับ) ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม-สิงหาคม ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน-ธันวาคม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย เรื่องที่จะลงตีพิมพ์ต้องเป็นบทความวิจัย หรือบทความวิชาการ (ภาษาของบทความ ได้แก่ ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ) ที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน และหรืออยู่ระหว่างการรอพิจารณาจากวารสารอื่น รวมทั้งผู้นิพนธ์ต้องไม่ละเมิดหรือคัดลอกผลงานของผู้อื่นหากนำผลงานของผู้อื่นมาใช้จะต้องมีการจัดทำอ้างอิงตามรูปแบบที่วารสารกำหนด บทความที่จะลงตีพิมพ์จะได้รับการพิจารณาลักษณะแบบปกปิด (Double blinded) โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขานั้นๆ จากหลากหลายสถาบัน และไม่อยู่ในสังกัดเดียวกันกับผู้นิพนธ์ ทั้งนี้บทความ ข้อความ ภาพประกอบ และตาราง ที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้นิพนธ์ กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์แต่เพียงผู้เดียว

วารสารนี้ไม่มีค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์ โดยได้รับการสนับสนุนวารสารจาก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ประมุข อุณหเลขกะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุฤติ ตุ่มทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา จันทร์ผา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์ สงค์แสงยศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยชินวัตร

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนภัสส์ คุ่มกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

กองบรรณาธิการ

ดร.อดุลย์ หาญวังมั่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. น้ำอ้อย ปัญญา

ดร.อภิญา อุตระชัย

ดร.วาทธี กันแก้ว

รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย ขวรางกูร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จีระศักดิ์ พุ่มเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัชฌา พุ่มเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชรัตน์ นุชประยูร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ จงสวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยชนะ ใจบุญ

ดร.ชยาคมน์ ปุริมศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปรการเจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ มุกดาสนิท

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท คูศิริรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรินทร์ อุ่มไกร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาณัติ รัตนถิรกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุตาสวรรค์ งามมงคลวงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร. สบสันต์ มหานิยม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์ประภา อินทะหล่อ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศินุพล พิมพ์พก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก

มหาวิทยาลัยชินวัตร

มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ

มหาวิทยาลัยราชชมงคลล้านนา

ผู้ประสานงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. น้ำอ้อย ปัญญา

สำนักงาน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ เลขที่ 60 หมู่ที่ 3

ถนนสายเอเชีย ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

โทรศัพท์ 035-709095 โทรสาร 035-709095 E-mail: sci@rmutsb.ac.th

สารจากบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ (Journal of science and technology RMUTSB) เป็นวารสารของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ เป็นวารสารด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ราย 4 เดือน (ปีละ 3 ฉบับ) ได้มีการเผยแพร่ฉบับปฐมฤกษ์ในปี พ.ศ. 2560 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอด ผลงานวิจัยและผลงานวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งบทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย โดยไม่เก็บค่าใช้จ่า่ย ทั้งนี้ได้ผ่านการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการ อ้างอิงวารสารไทย หรือ TCI กลุ่มที่ 2 (ผลประเมินคุณภาพวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 5 พ.ศ. 2568-2572)

วารสารฯ ฉบับนี้เป็นเล่มประจำปีี่ 10 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม 2569 ถึง มีนาคม 2569 เป็นฉบับ แรกของปี พ.ศ.2569 ทางวารสารยังมุ่งมั่นพัฒนาคุณภาพทางวิชาการอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ ผลงานวิจัยที่มีมาตรฐาน ในฉบับนี้มีบทความวิจัยจากทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย จำนวน 13 เรื่อง มี เนื้อหาทางวิชาการที่หลากหลายและครอบคลุมศาสตร์ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและ การสื่อสาร วิทยาศาสตร์ประยุกต์ พลศึกษาและวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณิตศาสตร์และสถิติ การศึกษาและ สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับศาสตร์ที่เกี่ยวข้องได้

ในนามของกองบรรณาธิการ ใคร่ขอขอบพระคุณผู้สนับสนุนทุกท่านที่ได้ให้ความสนใจส่งผลงานตีพิมพ์ เผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความ อนุเคราะห์ประเมินคุณภาพบทความมาโดยตลอด และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อ นักวิชาการ นักวิจัยและผู้สนใจทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอเชิญชวนผู้สนใจทุกท่านส่งผลงานตีพิมพ์เผยแพร่บทความ วิจัยและบทความวิชาการลงวารสาร รายละเอียดตามเว็บไซต์ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JSciTech>



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นฤภัสส์ คุ้มกลาง

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความ	หน้า
สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y \cdot q^z = u^2$ ณัฐวัฒน์ สามาอาภัตร์ และสุธน ตาดี	1
การสังเคราะห์วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์เพื่อดูดซับสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ พิชญากค์ แสงศรี และวนิดา ชูอักษร	9
การพัฒนาแอปพลิเคชันจองนัดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล พงษ์พิพัฒน์ จินต์วงศ์, โอปอ กลับสกุล, และสุพัตรา จินต์วงศ์	25
EFFECTS OF EXTRACTION CONDITIONS ON THE PHYTOCHEMICAL PROFILES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EUPHORBIA HIRTA L. EXTRACT <i>Patimoh Masae, Romalee Chedoloh, and Imron Meechai</i>	42
การประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ในจังหวัดสมุทรปราการ ธิติมา เกตุแก้ว, วิชัย สีแก้ว, และเอกรัตน์ สุขะสุนธร	53
การพัฒนาแอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง ชยาภา พุ่มสมบัติ และขวัญน่าน ประสมทอง	67
การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษาในกลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ วรการ ใจดี และนรินทร์ จิวิรัตน์	78
ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักตัวที่มีต่อความแม่นยำในนักกีฬายิงธนู ณรงค์ วิชัยรัตน์ และคณะ	96

สารบัญ (ต่อ)

บทความ	หน้า
OPTIMIZATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY IN CORDYCEPS MILITARIS-ENRICHED FERMENTED RICE WATER <i>Wishanee Matthayom, et al.</i>	109
การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาทักษะ การสร้างสรรค์ชิ้นงานสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 <i>วันดี พันธุ์โท, จรินทร์ อุ่มไกร, และไกลยสิทธิ์ อภิระติง</i>	138
ผู้ช่วยฝึกการอ่านออกเสียงภาษาอังกฤษโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ผ่านเทคโนโลยี NVIDIA Riva และ pygame <i>รวินทร์ ไชยสิทธิพร</i>	143
การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำนายความแข็งแรงในการรับน้ำหนักกดทับ ของขวดน้ำดื่มจาก rPET 100% <i>นภธร พูลเพียร</i>	153
การออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทย แบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนนบุรี <i>กัมปนาท คูศิริรัตน์ และคณะ</i>	167

$$\text{สมการไดโอแฟนไทน์ } 3^x + p^y \cdot q^z = u^2$$

$$\text{ON THE DIOPHANTINE EQUATION } 3^x + p^y \cdot q^z = u^2$$

ณัฐวัฒน์ สามาอาภรณ์¹ สุธน ตาดี^{1*}

Nattawat Samaapat¹, Suton Tadee^{1*}

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

¹Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: suton.t@lawasri.tru.ac.th

วันที่รับบทความ 4 ตุลาคม 2568 วันที่แก้ไขบทความ 31 มีนาคม 2569 วันที่ตอบรับบทความ 11 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและหาผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y \cdot q^z = u^2$ เมื่อ x, y, z และ u เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ p, q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p \equiv 5 \pmod{12}$ และ $q \equiv 5 \pmod{12}$ โดยใช้การพิสูจน์ตามหลักการทางคณิตศาสตร์ประกอบกับความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีจำนวน เช่น จำนวนเฉพาะ สมภาค และสัญลักษณ์เลอจองด์ เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า สมการดังกล่าวมีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(x, y, z, u) = (1, 0, 0, 2)$ นอกจากนี้ ผลงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการหาผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y \cdot q^z = u^{2t}$ เมื่อ t เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

คำสำคัญ: สมการไดโอแฟนไทน์; จำนวนเฉพาะ; สมภาค; สัญลักษณ์เลอจองด์

ABSTRACT

In this paper, we study and find all non-negative integer solutions of the Diophantine equation $3^x + p^y \cdot q^z = u^2$, where x, y, z and u are non-negative integers and p, q are prime numbers with $p \equiv 5 \pmod{12}$ and $q \equiv 5 \pmod{12}$. By using mathematical proofs combined with basic knowledge of number theory, such as: prime number, congruence and Legendre symbol, the results of the research were found that the Diophantine equation has the unique non-negative integer solution. That is $(x, y, z, u) = (1, 0, 0, 2)$. Moreover, it can be used to find the non-negative integer solutions of the Diophantine equation $3^x + p^y \cdot q^z = u^{2t}$, where t is a non-negative integer.

Keywords: Diophantine equation; Prime number; Congruence; Legendre symbol

1. บทนำ

ในช่วงประมาณหนึ่งทศวรรษที่ผ่านมา มีนักคณิตศาสตร์จำนวนไม่น้อยที่ได้ให้ความสนใจในการศึกษาหาผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ (Diophantine equation) ที่อยู่ในรูป $3^x + n^y = z^2$ เมื่อ x, y, z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ n เป็นจำนวนเต็มบวก โดยจากการที่คณะผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าผลงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถแบ่งงานวิจัยออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พิจารณากรณีที่ n เป็นจำนวนเฉพาะ ตัวอย่างผลงานวิจัย เช่น ในปี ค.ศ. 2013 Sroysang [1] ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 2^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) สามผลเฉลย คือ $(1, 0, 2), (0, 3, 3)$ และ $(2, 4, 5)$ และในปีเดียวกัน Sroysang [2] ได้แสดงอีกด้วยว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 17^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) เพียงผลเฉลยเดียวเท่านั้น คือ $(1, 0, 2)$ นอกจากนี้ Rabago [3] ได้แสดงว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 19^y = z^2$ และ $3^x + 91^y = z^2$ มีผลเฉลยสองผลเฉลย ดังต่อไปนี้ $(x, y, z) \in \{(1, 0, 2), (4, 1, 10)\}$ และ $(x, y, z) \in \{(1, 0, 2), (2, 1, 10)\}$ ตามลำดับ และต่อมาในปี ค.ศ. 2017 Asthana and Singh [4] ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 13^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) สี่ผลเฉลยเท่านั้น คือ $(1, 0, 2), (1, 1, 4), (3, 2, 14)$ และ $(5, 1, 16)$ ในปี ค.ศ. 2018 Rao [5] ได้ค้นพบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 7^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) เพียงสองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(1, 0, 2)$ และ $(2, 1, 4)$ หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 2020 Asthana and Singh [6] ได้แสดงว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 117^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) คือ $(1, 0, 2), (3, 1, 12), (7, 1, 48)$ และ $(7, 2, 126)$ ในปี ค.ศ. 2021 Tangjai and Chubthaisong [7] ได้ศึกษาสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p \equiv 2 \pmod{3}$ และต่อมาในปี ค.ศ. 2024 Paisal et al. [8] ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 97^y = z^2$ มีสองผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(1, 0, 2), (1, 1, 10)\}$ และในปี ค.ศ. 2025 Manikandan and Venkatraman [9] ได้แสดงว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 227^y = z^2$ และ $3^x + 229^y = z^2$ มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(1, 0, 2)\}$ และ $(x, y, z) \in \{(1, 0, 2), (3, 1, 16)\}$ ตามลำดับ

กลุ่มที่ 2 พิจารณากรณีที่ n เป็นจำนวนประกอบ ตัวอย่างผลงานวิจัย เช่น ในปี ค.ศ. 2014 Sroysang [10] [11] ได้พิสูจน์ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 45^y = z^2$ และ $3^x + 85^y = z^2$ มีผลเฉลยเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(x, y, z) = (1, 0, 2)$ และต่อมาในปี ค.ศ. 2020 Sangam [12] ได้พิสูจน์ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 6^y = z^2$ มีผลเฉลยจำนวนเต็มบวก (x, y, z) เพียงสามผลเฉลย คือ $(1, 1, 3), (2, 3, 15)$ และ $(6, 4, 45)$ ในปี ค.ศ. 2022 Biswas [13] ได้พิสูจน์ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 35^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) เพียงสองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(1, 0, 2)$ และ $(0, 1, 6)$ ในปี ค.ศ. 2023 Srimud and Tadee [14] ได้ศึกษาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + b^y = z^2$ เมื่อ b เป็นจำนวนเต็มบวก โดยที่ $b \equiv 5 \pmod{20}$ หรือ $b \equiv 5 \pmod{30}$ ในปี ค.ศ. 2024 Malavika and Venkatraman [15] ได้พิสูจน์ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 121^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) เพียงสองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(1, 0, 2)$ และ $(5, 2, 122)$ และ Biswas [16] ได้แสดงว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 63^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) สองผลเฉลย คือ $(1, 0, 2)$ และ $(0, 1, 8)$ เมื่อไม่นานมานี้ ในปี ค.ศ. 2025 Biswas [17] ได้ศึกษาและพิสูจน์ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 15^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) สองผลเฉลยเท่านั้น คือ $(1, 0, 2)$ และ $(0, 1, 4)$ นอกจากนี้ Rao [18] ได้ศึกษาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $(3^k - 1)^x + (3^k)^y = z^2$ เมื่อ k, x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

กลุ่มที่ 3 พิจารณากรณีที่ n^y อยู่ในรูป $p^y \cdot q^z$ เมื่อ p และ q เป็นจำนวนเฉพาะที่ได้กำหนดมาให้ ตัวอย่างผลงานวิจัย เช่น ในปี ค.ศ. 2015 Ai-juan and Mou-Jie [19] ได้ศึกษาและค้นพบว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 5^y \cdot 19^z = u^2$ มีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z, u) สามผลเฉลย คือ $(1, 0, 0, 2), (4, 0, 1, 10)$ และ $(2, 2, 1, 22)$ ต่อมาในปี ค.ศ. 2019 Vesarachasart et al. [20] ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 5^y \cdot 7^z = u^2$ มีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z, u) เพียงสี่ผลเฉลยเท่านั้น คือ $(1, 0, 0, 2), (2, 0, 1, 4), (4, 2, 1, 16)$ และ $(14, 4, 1, 2188)$

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้น โดยเฉพาะงานวิจัยในกลุ่มที่ 3 ทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาค้นคว้าหาผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y \cdot q^z = u^2$ เมื่อ x, y, z และ u เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ p, q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p \equiv 5 \pmod{12}$ และ $q \equiv 5 \pmod{12}$ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การพิสูจน์ตามหลักการทางคณิตศาสตร์ประกอบกับความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีจำนวน เช่น จำนวนเฉพาะ (prime number) สมภาค (congruence) และ สัญลักษณ์เลอจองด์ (Legendre symbol) เป็นต้น

2. ความรู้พื้นฐาน

ในหัวข้อนี้จะทบทวนความรู้เกี่ยวกับความหมายและสมบัติเบื้องต้นของสมภาคและสัญลักษณ์เลอจองด์ตามลำดับดังนี้

บทนิยาม 2.1 [21] ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จะกล่าวว่า สองจำนวนเต็ม a และ b สมภาค หรือ คอนกรูเอนซ์มอดุโล (congruent modulo) n เขียนแทนด้วย $a \equiv b \pmod{n}$ ถ้า n หาร $a - b$ ลงตัว หรือ $a - b = nk$ สำหรับบางจำนวนเต็ม k

ทฤษฎีบท 2.2 [21] ให้ $n > 1$ เป็นจำนวนเต็มบวก และ a, b, c, d เป็นจำนวนเต็มใด ๆ จะได้ว่าข้อความต่อไปนี้ เป็นจริง

1. $a \equiv a \pmod{n}$
2. ถ้า $a \equiv b \pmod{n}$ แล้ว $b \equiv a \pmod{n}$
3. ถ้า $a \equiv b \pmod{n}$ และ $b \equiv c \pmod{n}$ แล้ว $a \equiv c \pmod{n}$
4. ถ้า $a \equiv b \pmod{n}$ และ $c \equiv d \pmod{n}$ แล้ว $a + c \equiv b + d \pmod{n}$ และ $ac \equiv bd \pmod{n}$
5. ถ้า $a \equiv b \pmod{n}$ แล้ว $a + c \equiv b + c \pmod{n}$ และ $ac \equiv bc \pmod{n}$
6. ถ้า $a \equiv b \pmod{n}$ แล้ว $a^k \equiv b^k \pmod{n}$ สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก k

บทแทรก 2.3 [22] ให้ $n > 1$ เป็นจำนวนเต็มบวก และ a, b เป็นจำนวนเต็มใด ๆ ที่ไม่ใช่ศูนย์ จะได้ว่า ถ้า $a \equiv b \pmod{n}$ แล้ว $a^k \equiv b^k \pmod{n}$ สำหรับทุกจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ k

ทฤษฎีบท 2.4 [22] ถ้า z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ แล้ว $z^2 \equiv 0 \pmod{4}$ หรือ $z^2 \equiv 1 \pmod{4}$

บทนิยาม 2.5 [21] ให้ p เป็นจำนวนเฉพาะคี่ และ a เป็นจำนวนเต็ม โดยที่ $\gcd(a, p) = 1$ ถ้า $x^2 \equiv a \pmod{p}$ มีผลเฉลย จะเรียก a ว่า เป็นส่วนตกค้างกำลังสอง (quadratic residue) ของ p และถ้าไม่มีผลเฉลย จะเรียก a ว่า ไม่เป็นส่วนตกค้างกำลังสอง (quadratic non-residue) ของ p

บทนิยาม 2.6 [21] ให้ p เป็นจำนวนเฉพาะคี่ และ a เป็นจำนวนเต็ม โดยที่ $\gcd(a, p) = 1$

สัญลักษณ์ลองจองด์ (Legendre symbol) (a/p) นิยามโดย

$$\begin{aligned} (a/p) &= 1 && \text{เมื่อ } a \text{ เป็นส่วนตกค้างกำลังสองของ } p \\ (a/p) &= -1 && \text{เมื่อ } a \text{ ไม่เป็นส่วนตกค้างกำลังสองของ } p \end{aligned}$$

ทฤษฎีบท 2.7 [21] ให้ p เป็นจำนวนเฉพาะคี่ และ a, b เป็นจำนวนเต็ม โดยที่ $\gcd(a, p) = 1$ และ $\gcd(b, p) = 1$ จะได้ว่าสมบัติต่อไปนี้เป็นจริง

1. ถ้า $a \equiv b \pmod{p}$ แล้ว $(a/p) = (b/p)$
2. $(a^2/p) = 1$
3. $(a/p) \equiv a^{(p-1)/2} \pmod{p}$
4. $(ab/p) = (a/p)(b/p)$
5. $(1/p) = 1$ และ $(-1/p) = (-1)^{(p-1)/2}$

ทฤษฎีบท 2.8 [21] ให้ $p \neq 3$ เป็นจำนวนเฉพาะคี่ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (3/p) &= 1 && \text{เมื่อ } p \equiv 1 \pmod{12} \text{ หรือ } p \equiv 11 \pmod{12} \\ (3/p) &= -1 && \text{เมื่อ } p \equiv 5 \pmod{12} \text{ หรือ } p \equiv 7 \pmod{12} \end{aligned}$$

นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งทฤษฎีบทที่มีบทบาทสำคัญในงานวิจัยนี้และได้พิสูจน์โดย Sroysang เมื่อปี ค.ศ. 2012 ดังนี้

ทฤษฎีบท 2.9 [23] $(1, 2)$ เป็นผลเฉลย (x, z) ผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 1 = z^2$ เมื่อ x และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

3. ผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y \cdot q^z = u^2$

ทฤษฎีบท 3.1 ให้ p และ q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p \equiv 5 \pmod{12}$ และ $q \equiv 5 \pmod{12}$ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$3^x + p^y \cdot q^z = u^2 \tag{1}$$

มีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z, u) เพียงผลเฉลยเดียว คือ $(1, 0, 0, 2)$

พิสูจน์ ให้ x, y, z และ u เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และทำให้สมการ (1) เป็นจริง เนื่องจาก $p \equiv 5 \pmod{12}$ และ $q \equiv 5 \pmod{12}$ เพราะฉะนั้น $p \equiv 1 \pmod{4}$ และ $q \equiv 1 \pmod{4}$ ตามลำดับ ดังนั้นจากบทแทรก 2.3 จะได้ว่า $p^y \equiv 1 \pmod{4}$ และ $q^z \equiv 1 \pmod{4}$ และจากทฤษฎีบท 2.2 ข้อ 4 จะได้ว่า

$$p^y \cdot q^z \equiv 1 \pmod{4} \quad (2)$$

และจาก $3 \equiv -1 \pmod{4}$ ดังนั้นบทแทรก 2.3 จะได้ว่า $3^x \equiv (-1)^x \pmod{4}$ และจากสมภาค (2) จะได้ว่า $3^x + p^y \cdot q^z \equiv (-1)^x + 1 \pmod{4}$ และจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$u^2 \equiv (-1)^x + 1 \pmod{4} \quad (3)$$

ต่อไปจะแสดงว่า x เป็นจำนวนคี่ โดยใช้การพิสูจน์แบบหาข้อขัดแย้ง สมมติว่า x เป็นจำนวนคู่ ดังนั้นจากสมภาค (3) จะได้ว่า $u^2 \equiv 2 \pmod{4}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจากขัดแย้งกับทฤษฎีบท 2.4 เพราะฉะนั้น x เป็นจำนวนคี่ ในลำดับถัดไปจะแยกพิจารณา 2 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1. $y = 0$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$3^x + q^z = u^2 \quad (4)$$

กรณีที่ 1.1 $z = 0$ ดังนั้นจากสมการ (4) จะได้ว่า $3^x + 1 = u^2$ และเนื่องจากทฤษฎีบท 2.9 จะได้ว่า $x = 1$ และ $u = 2$ เพราะฉะนั้น $(x, y, z, u) = (1, 0, 0, 2)$

กรณีที่ 1.2 $z \geq 1$ เพราะฉะนั้น $q^z \equiv 0 \pmod{q}$ ดังนั้นจากทฤษฎีบท 2.2 จะได้ว่า $3^x + q^z \equiv 3^x + 0^z \equiv 3^x \pmod{q}$ และจากสมการ (4) จะได้ว่า $u^2 \equiv 3^x \pmod{q}$ เพราะฉะนั้น $(3^x/q) = 1$ และจากทฤษฎีบท 2.7 ข้อ 4 จะได้ว่า $(3^x/q) = (3/q)^x$ และจาก x เป็นจำนวนคี่ ดังนั้น $(3/q) = 1$ เพราะฉะนั้นจากทฤษฎีบท 2.8 จะได้ว่า $q \equiv 1 \pmod{12}$ หรือ $q \equiv 11 \pmod{12}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $q \equiv 5 \pmod{12}$ ดังนั้น ในกรณีนี้จึงไม่มีผลเฉลย

กรณีที่ 2. $y \geq 1$ เพราะฉะนั้น $p^y \equiv 0 \pmod{p}$ และเนื่องจากทฤษฎีบท 2.2 ข้อ 4 จะได้ว่า $p^y \cdot q^z \equiv 0 \cdot q^z \equiv 0 \pmod{p}$ ดังนั้น $3^x + p^y \cdot q^z \equiv 3^x + 0 \equiv 3^x \pmod{p}$ และจากสมการ (1) จะได้ว่า $u^2 \equiv 3^x \pmod{p}$ เพราะฉะนั้น $(3^x/p) = 1$ และจากทฤษฎีบท 2.7 ข้อ 4 จะได้ว่า $(3^x/p) = (3/p)^x$ และเนื่องจาก x เป็นจำนวนคี่ ดังนั้น $(3/p) = 1$ เพราะฉะนั้นจากทฤษฎีบท 2.8 จะได้ว่า $p \equiv 1 \pmod{12}$ หรือ $p \equiv 11 \pmod{12}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $p \equiv 5 \pmod{12}$ ดังนั้น ในกรณีนี้จึงไม่มีผลเฉลย

จากทั้งสองกรณี สรุปได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ (1) มีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียวเท่านั้น คือ $(x, y, z, u) = (1, 0, 0, 2)$

จากทฤษฎีบท 3.1 สามารถนำไปใช้พิสูจน์ทฤษฎีบทที่มีผู้ค้นพบก่อนหน้านี้ได้ เช่น

ทฤษฎีบท 3.2 [23] $(1, 0, 2)$ เป็นผลเฉลย (x, y, z) เพียงผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 5^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

ทฤษฎีบท 3.3 [2] $(1, 0, 2)$ เป็นผลเฉลย (x, y, z) เพียงผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 17^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

ทฤษฎีบท 3.4 [11] $(1, 0, 2)$ เป็นผลเฉลย (x, y, z) เพียงผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 85^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Sroysang [11] ได้แสดงว่า $(1, 0, 0, 2)$ เป็นผลเฉลย (x, u, v, z) ผลเฉลยหนึ่งของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 5^u \cdot 17^v = z^2$ ซึ่งในที่นี้ หากพิจารณาจากทฤษฎีบท 3.1 จะสรุปเพิ่มเติมได้ว่า ผลเฉลยดังกล่าวเป็นเพียงผลเฉลยเดียวเท่านั้น

ทฤษฎีบท 3.5 สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 5^u \cdot 17^v = z^2$ มีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, u, v, z) เพียงผลเฉลยเดียว คือ $(1, 0, 0, 2)$

ทฤษฎีบท 3.6 ให้ p และ q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p \equiv 5 \pmod{12}$ และ $q \equiv 5 \pmod{12}$ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$3^x + p^y \cdot q^z = u^{2t} \quad (5)$$

มีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z, u, t) เพียงผลเฉลยเดียว คือ $(1, 0, 0, 2, 1)$

พิสูจน์ ให้ x, y, z, u และ t เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ซึ่งทำให้สมการ (5) เป็นจริง เพราะฉะนั้น $3^x + p^y \cdot q^z = (u^t)^2$ และเนื่องจากทฤษฎีบท 3.1 จะได้ว่า $x=1, y=0, z=0$ และ $u^t=2$ ดังนั้น $u=2$ และ $t=1$ นั่นคือ $(x, y, z, u, t) = (1, 0, 0, 2, 1)$

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y \cdot q^z = u^{2t}$ เมื่อ x, y, z และ u เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ p, q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p \equiv 5 \pmod{12}$ และ $q \equiv 5 \pmod{12}$ มีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียวเท่านั้น คือ $(x, y, z, u) = (1, 0, 0, 2)$ ซึ่งในการพิสูจน์เพื่อหาผลเฉลยดังกล่าวได้ใช้เพียงความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีจำนวน เช่น จำนวนเฉพาะ (prime number) สมภาค (congruence) ส่วนตกค้างกำลังสอง (quadratic residue) และสัญลักษณ์เลอจองด์ (Legendre symbol) เป็นต้น และจากผลงานวิจัยนี้ทำให้ได้อรรถความรู้ใหม่ซึ่งขยายจากองค์ความรู้เดิม สังเกตได้จากการนำไปใช้พิสูจน์ทฤษฎีบทที่มีผู้คิดค้นก่อนหน้านี้ได้ เช่น ทฤษฎีบท 3.2 – 3.4 และสามารถทำให้งานวิจัยของ Sroysang [11] มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นดังที่ได้ปรากฏในทฤษฎีบท 3.5 นอกจากนี้ ยังสามารถนำผลวิจัยที่ได้ไปใช้แสดงว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y \cdot q^z = u^{2t}$ มีผลเฉลยจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z, u, t) เพียงผลเฉลยเดียว คือ $(1, 0, 0, 2, 1)$ แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้

ยังมีข้อจำกัดภายใต้เงื่อนไขที่ $p \equiv 5 \pmod{12}$ และ $q \equiv 5 \pmod{12}$ เนื่องจากการพิสูจน์ในที่นี้มีความจำเป็นต้องใช้เงื่อนไข $p \equiv 1 \pmod{4}$, $q \equiv 1 \pmod{4}$ และ $(3/p) = (3/q) = -1$ เพราะฉะนั้น จึงยังคงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาค้นคว้าต่อไปเพื่อหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขอื่น

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sroysang, B. (2013). More on the Diophantine equation $2^x + 3^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 84(2), p.p. 133-137.
- [2] Sroysang, B. (2013). On the Diophantine equation $3^x + 17^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 89(1), p.p. 111-114.
- [3] Rabago, J.F.T. (2013). On two Diophantine equations $3^x + 19^y = z^2$ and $3^x + 91^y = z^2$. International Journal of Mathematics and Scientific Computing, 3(1), p.p. 28-29.
- [4] Asthana, S. and Singh, M.M. (2017). On the Diophantine equation $3^x + 13^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 114(2), p.p. 301-304.
- [5] Rao, C.G. (2018). On the Diophantine equation $3^x + 7^y = z^2$. EPRA International Journal of Research and Development, 3(6), p.p. 93-95.
- [6] Asthana, S. and Singh, M.M. (2020). On the Diophantine equation $3^x + 117^y = z^2$. GANITA, 70(2), p.p. 43-47.
- [7] Tangjai, W. and Chubthaisong, C. (2021). On the Diophantine equation $3^x + p^y = z^2$ where $p \equiv 2 \pmod{3}$. WSEAS Transactions on Mathematics, 20, p.p. 283-287.
- [8] Paisal, K., Chayapham, P. and Lertlop, W. (2024). Solutions of the Diophantine equations $3^x + 97^y = z^2$ and $11^x + 89^y = z^2$. The Golden Teak: Science and Technology Journal, 11(2), p.p. 13-17.
- [9] Manikandan, K. and Venkatraman, R. (2025). Exploring Diophantine equations Involving Twin Primes: A note on $3^x + p^y = z^2$. Palestine Journal of Mathematics, 14(SII), p.p. 68-72.
- [10] Sroysang, B. (2014). On the Diophantine equation $3^x + 45^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 91(2), p.p. 269-272.
- [11] Sroysang, B. (2014). More on the Diophantine equation $3^x + 85^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 91(1), p.p. 131-134.
- [12] Sangam, B.R. (2020). On the Diophantine equations $3^x + 6^y = z^2$ and $5^x + 8^y = z^2$. Annals of Pure and Applied Mathematics, 22(1), p.p. 7-11.
- [13] Biswas, D. (2022). Does the solution to the non-linear Diophantine equation $3^x + 35^y = z^2$ exists?. Journal of Scientific Research, 14(3), p.p. 861-865.

-
- [14] Srimud, K. and Tadee, S. (2023). On the Diophantine equation $3^x + b^y = z^2$. International Journal of Mathematics and Computer Science, 18(1), p.p. 137-142.
- [15] Malavika, N. and Venkatraman, R. (2024). On the exponential Diophantine equation $3^x + 121^y = z^2$. International Journal of Mathematics and Computer Science, 19(3), p.p. 917-920.
- [16] Biswas, D. (2024). A note on the Diophantine equation $3^x + 63^y = z^2$. Journal of Physical Sciences, 29, p.p. 23-27.
- [17] Biswas, D. (2025). A discussion on the solution(s) of the Diophantine equation $3^x + 15^y = z^2$. Journal of Scientific Research, 17(1), p.p. 129-132.
- [18] Rao, C.G. (2025). On exploring the exponential Diophantine equation $(3^k - 1)^x + (3^k)^y = z^2$ with k is a nonnegative integer. Annals of Pure and Applied Mathematics, 32(1), p.p. 37-47.
- [19] Ai-juan, X. and Mou-jie, D. (2015). On the Diophantine equation $3^x + 5^y \cdot 19^z = u^2$. Journal of Progressive Research in Mathematics, 5(3), p.p. 578-581.
- [20] Vesarachasart, S., Makuwing, A., Wasurakka, N. and Phattharachittra, K. (2019). On the Diophantine equation $3^x + 5^y \cdot 7^z = u^2$. Thai Journal of Science and Technology, 8(3), p.p. 220-225.
- [21] Burton, D.M. (2010). Elementary number theory. 7th ed., New York: McGraw-Hill. p.p. 63-189.
- [22] Raksangoen, P., Tongnuy, P. and Tadee, S. (2025). On the solutions of the Diophantine equation $7^x + 35^y = z^2$. Journal of Science and Technology RMUTSB, 9(1), p.p. 102-109.
- [23] Sroysang, B. (2012). On the Diophantine equation $3^x + 5^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 81(4), p.p. 605-608.

การสังเคราะห์วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์เพื่อกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

SYNTHESIS OF METAL ORGANIC FRAMEWORKS FOR DYE REMOVAL
FROM SYNTHETIC WASTEWATERพิชญากค์ แสงศรี¹ และ วณิดา ชูอักษร^{1*}Pichayaphak Sangsri¹ and Wanida Chooaksorn^{1*}¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์¹ Faculty of Science and Technology, Thammasat University

*E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): E-mail: cwanida@tu.ac.th

วันที่รับบทความ 15 พฤศจิกายน 2568 วันที่แก้ไขบทความ 17 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 17 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสังเคราะห์วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์ (Metal Organic Frameworks; MOF) สองชนิด ได้แก่ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI เพื่อประยุกต์ใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในน้ำเสียสังเคราะห์ กระบวนการสังเคราะห์ใช้เทคนิคไฮโดรเทอร์มอลและกรดเบนซีน-1,3,5-ไตรคาร์บอกซิลิก โดยที่ MOF-Ni-DMF ใช้ไดเมทิลฟอร์มาไรม์เป็นตัวทำละลาย ขณะที่ MOF-Ni-DI ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ภายใต้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า วัสดุ MOF ที่สังเคราะห์ได้ทั้งสองชนิด มีลักษณะเป็นผงสีขาวอ่อน เมื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติด้วยเทคนิค FTIR ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพีกของ Ni-O บริเวณ 720 cm^{-1} พีกหมู่คาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}$) กับโลหะนิกเกิล ในช่วง $1650\text{--}1350\text{ cm}^{-1}$ พีกหมู่คาร์บอนิล ($\text{C}=\text{O}$) บริเวณ 1720 cm^{-1} และพีกหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) บริเวณ 3400 cm^{-1} โลหะและสารอินทรีย์มีการสร้างพันธะกันโดยมีทั้งโลหะนิกเกิล และมี BTC อยู่ในโครงสร้างของทั้งสอง จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่า MOF-Ni-DMF มีโครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบ (Crystalline) และ MOF-Ni-DI มีลักษณะเป็นโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous) โดยวัสดุมีค่า Zeta potential ของ MOF-Ni-DMF เท่ากับ -12.7 mV และ MOF-Ni-DI เท่ากับ -15.2 mV ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลออเรนจ์ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ pH 5.6 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า กระบวนการดูดซับเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 40 นาที โดย MOF-Ni-DMF แสดงสมรรถนะการดูดซับสูงกว่า MOF-Ni-DI ในทุกระดับความเข้มข้นของเมทิลออเรนจ์ที่ระดับ 20, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่น่าสนใจคือ ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร MOF-Ni-DMF สามารถดูดซับได้สูงสุด 141.73 มิลลิกรัมต่อกรัม (99.52%) ขณะที่ MOF-Ni-DI ดูดซับได้ 98.67 มิลลิกรัมต่อกรัม (69.28%) พฤติกรรมดูดซับของวัสดุทั้งสองสอดคล้องกับแบบจำลองไอโซเทอรัมของ Freundlich

โดยเฉพาะ MOF-Ni-DMF ที่มีค่า R^2 สูงถึง 0.99937 แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ MOF ที่สังเคราะห์ด้วย DMF ในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: อุตสาหกรรมสิ่งทอ; วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์; เมทิลออเรนจ์; การดูดซับ

ABSTRACT

This research focuses on the synthesis of two types of Metal Organic Frameworks (MOF), including MOF-Ni-DMF and MOF-Ni-DI, for application in the adsorption of methyl orange dye from synthetic wastewater. Both were synthesized by using nickel (II) chloride hexahydrate and 1,3,5-benzenetricarboxylic as precursors. N, N-Dimethylformamide (DMF) was used as the solvent for MOF-Ni-DMF, while deionized water was used for MOF-Ni-DI. The synthesis was conducted at 120 °C for 24 h. The results showed that both synthesized MOF appeared as light green powders. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis revealed the presence of Ni–O vibration at around 720 cm^{-1} , carboxylate groups (–COO) coordinated with nickel in the range of 1650–1350 cm^{-1} , carbonyl (C=O) groups at approximately 1720 cm^{-1} , and hydroxyl (–OH) groups around 3400 cm^{-1} . These results confirm the successful coordination between nickel ions and organic ligands (BTC) in the framework structures of both materials. crystallinity was examined using X-ray diffraction (XRD) analysis indicated that MOF-Ni-DMF possessed a well-defined crystalline structure, whereas MOF-Ni-DI exhibited an amorphous structure. The zeta potential values of MOF-Ni-DMF and MOF-Ni-DI were –12.7 mV and –15.2 mV, respectively. The adsorption performance of both materials was evaluated for methyl orange removal from synthetic wastewater at pH 5.6 and 25 °C. The adsorption process reached equilibrium within 40 min. MOF-Ni-DMF demonstrated superior adsorption performance compared to MOF-Ni-DI at all initial dye concentrations (20, 50, and 100 mg/L). Notably, at an initial concentration of 20 mg/L, MOF-Ni-DMF achieved a maximum adsorption capacity of 141.73 mg/g (99.52%), whereas MOF-Ni-DI showed a capacity of 98.67 mg/g (69.28%). The adsorption behavior of both materials was well described by the Freundlich isotherm model, with MOF-Ni-DMF exhibiting a high correlation coefficient ($R^2 = 0.99937$). These findings highlight the strong potential of DMF-synthesized MOF for efficient dye removal in wastewater treatment applications.

Keywords: Textile Industry; Metal Organic Framework (MOF); Methyl orange; Adsorption

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากอุตสาหกรรมนี้ตอบสนองความต้องการพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ รวมถึงการเพิ่มคุณภาพชีวิตหรือความหรูหราในชีวิตประจำวันของเรา เช่น เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม เพอร์นิเจอร์ในบ้าน สิ่งทอสำหรับยานยนต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตสิ่งทอก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำ อากาศ และดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางน้ำ [1] เนื่องจากในกระบวนการผลิตสิ่งทอมีการใช้น้ำในหลายขั้นตอน เช่น การจัดสิ่งสกปรก การฟอก การย้อม และการล้าง ทำให้เกิดน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อนจำนวนมาก โดยเฉพาะสีย้อม ซึ่งหากถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำโดยปราศจากการบำบัดที่เหมาะสม จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง สีย้อมในน้ำเสียมักประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก และมีผลต่อระบบนิเวศทางน้ำ โดยสีที่อยู่ในน้ำทำให้ปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงสู่ได้น้ำลดลง ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ อีกทั้งความเป็นพิษของสีย้อมยังส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสัตว์น้ำอีกด้วย เช่น สีย้อมสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความเครียดออกซิเดชัน (Oxidative Stress) ซึ่งส่งผลเสียต่อโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน้ำ อีกทั้งยังทำให้แหล่งน้ำมีทัศนียภาพที่ไม่น่ามอง [2] หนึ่งในสีย้อมที่พบในอุตสาหกรรมสิ่งทอคือ เมทิลออเรนจ์ ซึ่งเป็นสีย้อมชนิดอะโซ (Azo Dye) เป็นสีที่มีพันธะอะโซ ($-N=N-$) อาจมีมากกว่าหนึ่งพันธะในโมเลกุลของสีย้อม สีย้อมอะโซเป็นกลุ่มสีย้อมที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดในอุตสาหกรรมเคมีสีย้อมในปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต สีย้อมอะโซได้รับความนิยมเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ความหลากหลายของโครงสร้างที่สามารถปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลาย

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 ได้กำหนดให้ค่าสีในน้ำทิ้งต้องไม่เกิน 300 ADMI [3] ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการกำจัดสีในน้ำเสียทั้งวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เช่น วิธีทางชีวภาพ เป็นการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีข้อดีคือเป็นวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและต้นทุนต่ำ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาการบำบัดที่นานและประสิทธิภาพอาจลดลงหากมีสารพิษสูงในน้ำเสีย วิธีทางกายภาพ เช่น การใช้เทคโนโลยีเมมเบรน สามารถแยกสารปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว แต่ต้นทุนอุปกรณ์และการบำรุงรักษาที่สูง และวิธีทางเคมี ได้แก่ กระบวนการออกซิเดชันการตกตะกอน ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง แต่มีค่าใช้จ่ายสูงและอาจก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตราย เกิดกากตะกอน ซึ่งเป็นภาระในการจัดการ [4] [5]

แนวทางที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันสำหรับการบำบัดน้ำเสีย คือการใช้วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์ (Metal-Organic Frameworks: MOF) ซึ่งเป็นวัสดุเชิงโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยโลหะและลิแกนด์อินทรีย์ที่สามารถปรับแต่งให้มีโครงสร้างและคุณสมบัติให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ ซึ่งคุณสมบัติเด่นคือ พื้นที่ผิวสูง ความพรุนขนาดเล็ก และความสามารถในการปรับแต่งโครงสร้างนี้ทำให้ MOF มีบทบาทในด้านการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำเสียทั้งโลหะหนัก รวมถึงสีย้อม [6] จึงเป็นที่น่าสนใจในการพัฒนาศักยภาพของ MOF สำหรับใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

สีย้อมเป็นสารประกอบเคมีที่สามารถให้สีโดยการดูดกลืนแสงในช่วงสเปกตรัมที่มองเห็นได้ และสะท้อนแสงในช่วงสเปกตรัมอื่น ๆ กลับออกมา ทำให้วัตถุที่ถูกย้อมมีสีที่มองเห็นได้ คุณสมบัติสำคัญของสีย้อมคือความสามารถในการละลายหรือกระจายตัวในตัวกลาง และสามารถสร้างพันธะกับวัสดุที่จะย้อมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลซึ่งเอื้อต่อการแทรกซึมของโมเลกุลสีย้อมเข้าไป เช่น เส้นใยผ้า หนัง หรือเส้นใยสังเคราะห์ ในอดีตสีย้อมส่วนใหญ่ได้จากแหล่งธรรมชาติ เช่น คราม ขมิ้น ครั่ง เป็นต้น แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านความคงทนต่อแสง การซีดจาง และต้นทุนการผลิต จึงมีการพัฒนาสีย้อมสังเคราะห์ขึ้นสามารถผลิตในปริมาณมาก มีความหลากหลายของสี และสามารถควบคุมคุณสมบัติได้ตามต้องการ [7] ส่วนใหญ่มีผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต นอกจากนั้นการปล่อยสีย้อมสังเคราะห์ที่ไม่ได้รับการบำบัดลงสู่สิ่งแวดล้อมอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อระบบนิเวศและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ ผ่านเส้นทางการแพร่กระจายจากแหล่งน้ำ สูดิน และปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารสำหรับการบริโภคของมนุษย์ [2] การระบายน้ำที่มีการปนเปื้อนสีย้อมลงสู่แหล่งน้ำก่อให้เกิดการเปลี่ยนสีของแหล่งน้ำที่รับน้ำเสียส่งผลให้แสงที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงไม่สามารถส่องผ่านไปได้อย่างเพียงพอ และเป็นการขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ นอกจากนี้ สีย้อมยังสามารถสะสมอยู่ในเหงือก, เส้นข้างลำตัว หรือสมองของปลา นำไปสู่ผลกระทบทางพิษวิทยายิ่งไปกว่านั้น สีย้อมที่เป็นพิษยังสามารถสะสมในเนื้อเยื่อไขมันของปลา (Bioaccumulation) ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคผ่านห่วงโซ่อาหาร [8] การสัมผัสกับสีย้อมสังเคราะห์มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดโรคตั้งแต่ผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) ไปจนถึงความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง รวมถึงความผิดปกติของอวัยวะต่าง ๆ และความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ผ่านการสัมผัสโดยตรงกับสีย้อม น้ำดื่มที่ปนเปื้อนสีย้อม และการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนการสัมผัสโดยตรง หรือการสูดดมผงสีย้อม [9] นอกจากนั้น การระบายน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมลงสู่แหล่งรองรับน้ำธรรมชาติส่งผลต่อภาคการเกษตร โดยเฉพาะการทำประมง ซึ่งเป็นเสาหลักทางเศรษฐกิจของหลายประเทศ สัตว์น้ำได้รับผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และสุขภาพของสัตว์น้ำ เกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหาร ส่งผลให้ผลผลิตทางลดลง การปนเปื้อนของสีย้อมในแหล่งน้ำยังทำลายศักยภาพด้านการท่องเที่ยว ทำให้นักท่องเที่ยวลดลง ส่งผลกระทบต่อธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยว เช่น โรงแรม ร้านอาหาร และธุรกิจบริการอื่น ๆ [10]

วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์ (Metal Organic Framework; MOF) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นโลหะ (Metal) ที่ทำหน้าที่เป็นจุดต่อ (Nodes) และส่วนที่เป็นตัวเชื่อมอินทรีย์ (Organic ligands) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (linkers) ส่งผลให้เกิดโครงสร้างผลึกที่เป็นโครงข่ายอย่างเป็นระเบียบ มีรูพรุนสูงและพื้นที่ผิวมาก ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ส่งเสริมศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานในหลากหลายอีกทั้งยังสามารถที่ปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการขึ้นอยู่กับสถานะและวิธีการในการสังเคราะห์ มีคุณสมบัติโดดเด่น เช่น พื้นที่ผิวสูงความสามารถในการปรับแต่งโครงสร้าง และรูพรุนขนาดนาโน ซึ่งเอื้อต่อการดูดซับสารมลพิษ เช่น สีย้อม โลหะหนัก หรือสารเคมี MOF จึงมีศักยภาพในการนำมาใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย การขนส่งยา หรือแม้แต่ในระบบเก็บพลังงาน [11] ความหลากหลายทางโครงสร้างนี้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้าน ดังนั้นวิธีการสังเคราะห์ MOF จึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติและประสิทธิภาพของวัสดุโดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล (Solvothermal Method) เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการเตรียม MOF อาศัยการละลายของโลหะและ ตัวเชื่อมอินทรีย์ ในตัวทำละลายโดยผสมสารตั้งต้นเข้าด้วยกันในตัวทำละลาย หากในการ

สังเคราะห์ MOF ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว จะเรียกรวมกันว่า hydrothermal method ซึ่งถือเป็นวิธีหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับ solvothermal method จากนั้นนำสารละลายไปใส่ในภาชนะปฏิกิริยาแบบปิด การสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้ สามารถดำเนินการสังเคราะห์ได้ภายในกระบวนการเดียว (one pot synthesis) โดยไม่จำเป็นต้องใช้ขั้นตอนเตรียมหรือแยกสารตั้งต้นที่ซับซ้อน ให้ผลึกที่มีลักษณะเป็นระเบียบและมีความเป็นผลึกเดี่ยว (single crystalline) แต่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานมักใช้เวลาหลายชั่วโมง และต้องมีการใช้ตัวทำละลายปริมาณมาก อาจเพิ่มต้นทุนและปริมาณของเสียจากตัวทำละลายหลังการสังเคราะห์

คุณสมบัติด้านโครงสร้างที่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้ มีความเป็นผลึก มีรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง และมีโครงสร้างที่แข็งแรง จึงทำให้ MOF เป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับในระบบบำบัดน้ำเสีย (MOF as adsorbent in wastewater treatment) ซึ่งเทคโนโลยีการดูดซับนั้นใช้ต้นทุนต่ำ การใช้งานสะดวก จึงเป็นที่นิยมในการกำจัดสารต่างๆออกจากน้ำเสีย ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของสารดูดซับนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยในการดูดซับ เช่น อุณหภูมิ, ปริมาณสารดูดซับ, ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม และเวลาสัมผัสอีกด้วย [12]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chen และคณะ [13] ได้มีการสังเคราะห์ MOF โดยนำ Nickel (II) nitrate 1,3,5-benzenetricarboxylic (BTC) และ N, N-Dimethylformamide (DMF) ไปให้ความร้อนพบว่ามีตะกอนสีเขียวตกตะกอนอยู่ จากนั้นล้างด้วยเอทานอล และอบแห้ง และศึกษาลักษณะสมบัติของวัสดุโดยเทคนิค FTIR และ XRD พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้เป็น MOF Radhika และคณะ [14] ได้สังเคราะห์ MOF จาก Nickel (II) chloride hexahydrate BTC ละลายใน DMF จากนั้นนำไปให้ความร้อนพบว่ามีตะกอนสีเขียวตกตะกอนอยู่ จากนั้นล้างด้วยเอทานอล และอบแห้ง นำไปศึกษาลักษณะสมบัติของวัสดุโดยเทคนิค FTIR และ XRD พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้เป็น MOF Haque และคณะ [15] ศึกษาการดูดซับเมทิลออเรนจ์และเมทิลินบลูโดยสังเคราะห์ MOF-235 จาก Ferric Chloride Hexahydrate BDC เป็นสารตั้งต้นโดยใช้ DMF เป็นตัวทำละลาย นำสารละลายผสมกับเอทานอล และให้ความร้อน จะพบผงสีส้ม จากนั้นนำไปทดสอบการดูดซับเมทิลออเรนจ์ที่มีประจุเป็นลบ และเมทิลินบลูที่มีประจุเป็นบวก โดยที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าในการดูดซับเมทิลออเรนจ์มีการดูดซับได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และที่ความเข้มข้นของเมทิลออเรนจ์ 20 30 และ 40 mg/L ดูดซับได้ดีที่ความเข้มข้น 40 mg/L ลักษณะการดูดซับสอดคล้องกับ pseudo second-order kinetic models และพบว่า MOF-235 มีความสามารถในการดูดซับมากกว่าถ่านกัมมันต์ ส่วน Ragui และคณะ [16] สังเคราะห์ MOF N@BTC โดยนำ Nickel (II) nitrate hexahydrate และ 1,3,5-benzenetricarboxylic acid (BTC) เป็นสารตั้งต้น โดยมีเอทานอล (Ethanol) เป็นตัวทำละลาย ให้ความร้อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีตะกอนสีเขียวย่อยตกตะกอนอยู่ ลักษณะสมบัติของวัสดุโดยใช้เทคนิค FTIR และ XRD พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้เป็น MOF ประจุพื้นผิวของ N@BTC มีค่าความต่างศักย์ซีตาเป็นบวก (+3.1 mV) ทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic repulsion) ต่อโมเลกุลของสีย้อมที่มีประจุบวก พื้นที่ผิวจำเพาะค่อนข้างต่ำ (62.9 ตารางเมตรต่อกรัม) และมีปริมาตรรูพรุนน้อย จึงมีพื้นที่จำกัดในการรองรับสารปนเปื้อน สามารถกำจัดสีย้อม Rhodamine B ได้ 2.93% สีย้อม Toluidine Blue 41.2% และสีย้อม Rose Bengal 19.93% Zhao และคณะ [17] สังเคราะห์ MOF โดยนำ Nickel และ 1,3,5-trimesic acid เป็นสารตั้งต้น โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย และกระตุ้นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับการบด (Ultrasonic wave-assisted ball milling) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส พบว่ามีการตกตะกอน โดย

ลักษณะสมบัติของวัสดุ เป็น MOF มีพฤติกรรมการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลอง pseudo second-order kinetic models และ Freundlich Isotherm บ่งชี้ถึงการดูดซับทางเคมีแบบหลายชั้น นอกจากนี้กระบวนการดูดซับยังเกิดได้ดีในสภาวะกรดเนื่องจากมีไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) บนพื้นผิววัสดุทำหน้าที่เป็นกรดลิวอิส (Lewis acid) ในการเข้าจับกับสีย้อม โดย วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์แบบโลหะเดียนิกเกิล (Ni-MOF) สามารถดูดซับสีย้อมคองโกเรด (Congo red) ได้สูงสุด 2,046 มิลลิกรัมต่อกรัม นอกจากนี้ Arroussi และคณะ [18] สังเคราะห์ MOF โดยนำ Nickel (II) nitrate และ BTC ในตัวทำละลาย DMF เอทานอล และน้ำ โดยเติม Triethylamine กวนผสมที่อุณหภูมิห้อง ล้างด้วย DMF และไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2) นำไปศึกษาสมบัติของวัสดุโดยเทคนิค XRD, FTIR และ TGA พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้เป็น MOF มีพฤติกรรมการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลอง pseudo first-order kinetic models และ Langmuir Isotherm ซึ่งบ่งชี้ถึงการดูดซับแบบชั้นเดียว

3. วิธีการวิจัย

3.1 สังเคราะห์วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์ (Metal–Organic Frameworks: MOF)

สังเคราะห์ MOF 2 ชนิด ได้แก่ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI โดยที่ MOF-Ni-DMF จะ N, N-Dimethylformamide (DMF) เป็นตัวทำละลายและ MOF-Ni-DI ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย

3.1.1 การสังเคราะห์ MOF-Ni-DMF

ละลาย 1,3,5-benzenetricarboxylic (BTC) 5 mmol N, N-Dimethylformamide (DMF) 40 mL จากนั้นเติม Nickel (II) Chloride Hexahydrate 5 mmol ลงไปผสม แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กวนตลอดเวลาและใช้อ่างน้ำมัน (Oil bath) ที่บรรจุน้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) ในการให้ความร้อน นำสารที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5,000 rpm 5 นาที เพื่อแยกสารที่เป็นของแข็ง จากนั้นล้างด้วยเอทานอล และทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส [19] [20]

3.1.2 การสังเคราะห์ MOF-Ni-DI

ละลาย BTC 5 mmol ในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) 40 mL เติม Nickel (II) Chloride Hexahydrate 5 mmol ผสมให้เข้ากัน ปรับค่า pH ของสารละลายให้อยู่ที่ประมาณ 7 โดย 0.1 M NaOH จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กวนตลอดเวลาและใช้อ่างน้ำมันที่บรรจุน้ำมันซิลิโคนในการให้ความร้อน นำสารที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5,000 rpm 5 นาที เพื่อแยกสารที่เป็นของแข็ง จากนั้นล้างด้วยเอทานอล และทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส [19] [20]

3.2 การศึกษาสมบัติของวัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์ (Metal–Organic Frameworks; MOF)

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer; FTIR) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น NICOLET iS5 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer ที่ช่วงมุม 2θ ระหว่าง 10 ถึง 80 องศา ยี่ห้อ Rigaku รุ่น Miniflex 6G และวัดค่าศักย์ซีตา (Zeta Potential) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ศักย์ซีตา ยี่ห้อ Malvern รุ่น ZEN2600 Nano-ZS

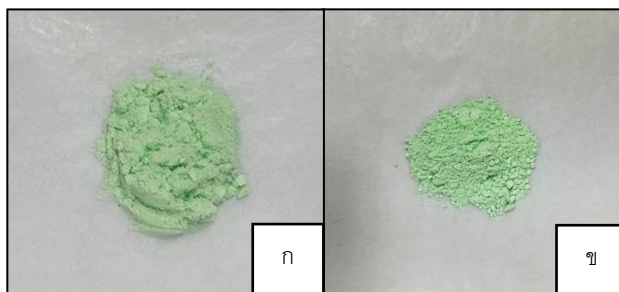
3.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ ของ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมขึ้นโดยละลายเมทิลออเรนจ์ในน้ำปราศจากไอออน เพื่อจำลองน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยมีความเข้มข้นของเมทิลออเรนจ์ในระดับ 20, 50 และ 100 mg/L ปริมาตร 30 mL ใช้วัสดุดูดซับปริมาณ 10 mg ที่ค่า pH 5.6 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้ช่วงเวลาการสัมผัส 20, 40, 60 และ 80 นาที โดยมีการกวนตลอดระยะเวลาสัมผัส จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อนำไปศึกษาความสามารถในการดูดซับโดยคำนวณได้จากประสิทธิภาพในการดูดซับ และการวิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการสังเคราะห์วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์ (Metal–Organic Frameworks; MOF)

วัสดุ MOF ที่สังเคราะห์ได้ทั้งสองชนิด ได้แก่ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI มีลักษณะเป็นผงสีเขียวอ่อน แสดงดังภาพที่ 1 โดยพบว่า MOF-Ni-DI มีลักษณะเกาะกลุ่มแน่นมากกว่า MOF-Ni-DMF ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับ pH ระหว่างการสังเคราะห์

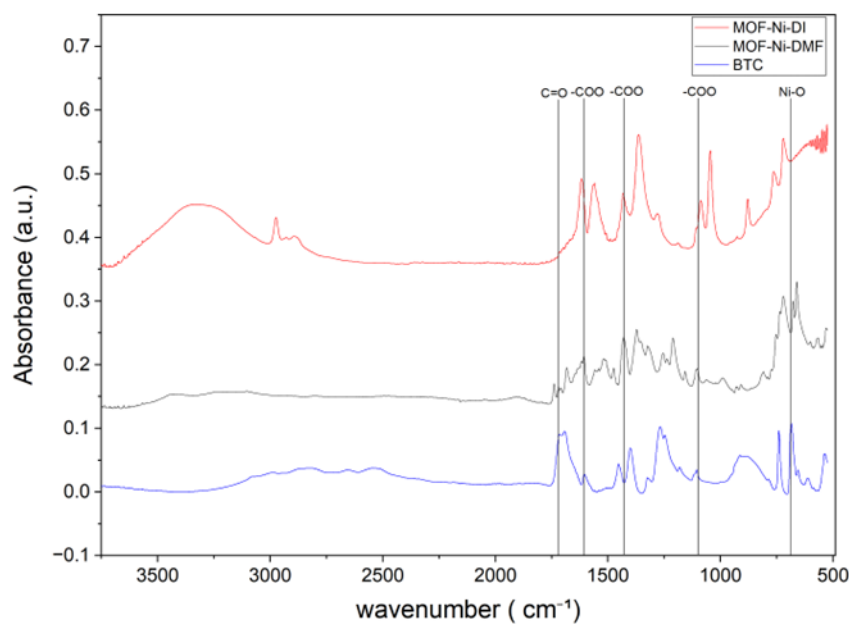


ภาพที่ 1 (ก) MOF-Ni-DMF และ (ข) MOF-Ni-DI

4.2 การศึกษาลักษณะสมบัติของวัสดุ

4.2.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

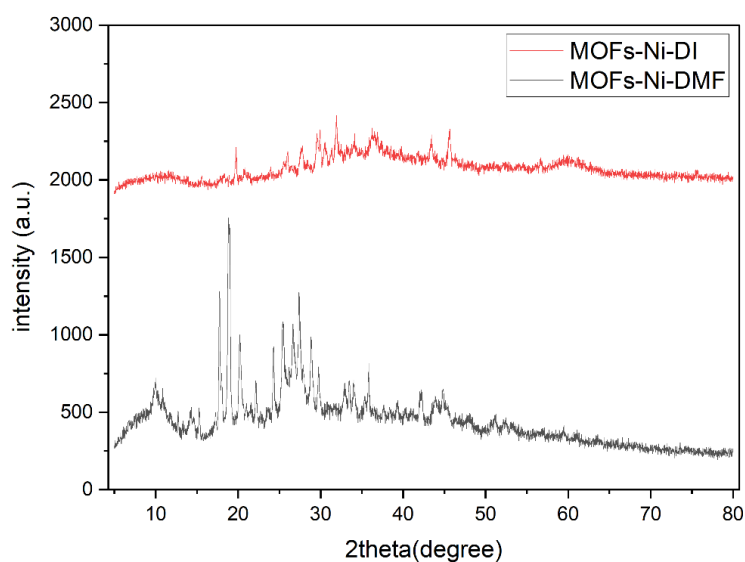
การศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) พบว่า MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ปรากฏสเปกตรัมแสดงดังภาพที่ 2 โดยปรากฏสเปกตรัมของ Ni-O บริเวณ 720 cm^{-1} สเปกตรัมหมู่คาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}$) กับโลหะนิกเกิล ในช่วง $1650\text{--}1350\text{ cm}^{-1}$ สเปกตรัมหมู่คาร์บอนิล ($\text{C}=\text{O}$) บริเวณ 1720 cm^{-1} และสเปกตรัมหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) บริเวณ 3400 cm^{-1} จะเห็นได้ว่าโลหะและสารอินทรีย์มีการสร้างพันธะกันโดยมีทั้งโลหะนิกเกิล และ BTC อยู่ในโครงสร้างของทั้งสองจึงมีโอกาเป็น MOF



ภาพที่ 2 สเปกตรัมจากการเทคนิค FTIR ของ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI

4.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยรังสีเอ็กซ์เรย์ (XRD)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยรังสีเอ็กซ์เรย์ (XRD) พบว่า MOF-Ni-DMF ที่ใช้ DMF ปรากฏพีกที่มีความคมชัดแสดงถึงโครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบ (Crystalline Structure) โดยปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 9.99° , 17.74° , 18.85° , 20.20° , 27.38° , และ 35.84° และ MOF-Ni-DI ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายปรากฏพีกที่มีลักษณะไม่คมชัดที่ตำแหน่ง 2θ ประมาณ $10-50^\circ$ (ภาพที่ 3) ซึ่งแสดงถึงลักษณะของวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกที่เป็นโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous Structure)



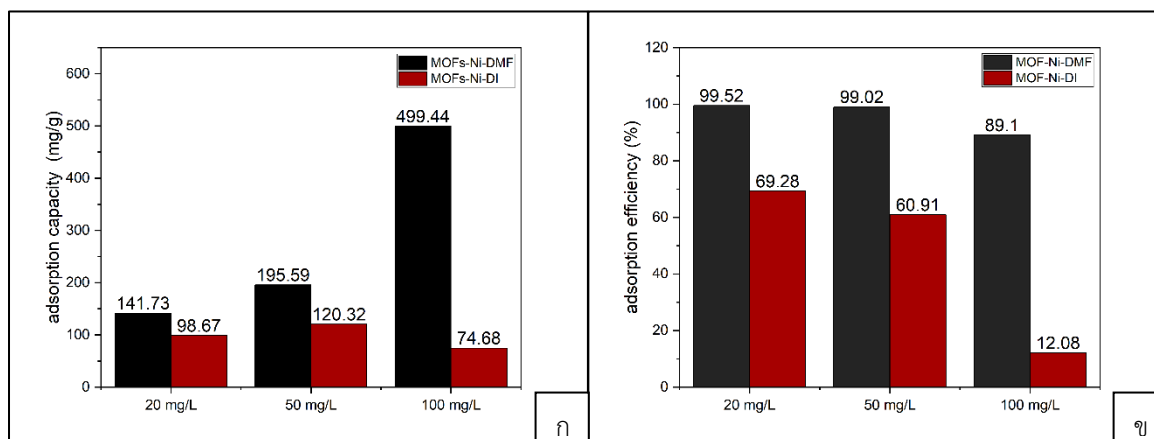
ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ลักษณะการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI

4.2.3 การวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าผิว (Zeta Potential)

การวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าผิว (Zeta Potential) ที่ pH 5 แสดงว่า MOF-Ni-DMF มีค่า -12.7 mV และ MOF-Ni-DI มีค่า -15.2 mV ซึ่งมีประจุลบที่ผิวสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากตัวทำละลายมีผลต่ออัตราการตกผลึก (Crystallization Rate) ขนาดผลึก (Crystal Size) โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)

4.3. การดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์

การศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์โดยใช้ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของเมทิลออเรนจ์เท่ากับ 20, 50 และ 100 mg/L โดยใช้วัสดุดูดซับในปริมาณ 10 mg ต่อปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ 30 mL ที่ค่า pH 5.6 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทดสอบในช่วงเวลา 20, 40, 60 และ 80 นาที ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในเวลา 40 นาที เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับ ณ เวลาดังกล่าวพบว่า MOF-Ni-DMF มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่า MOF-Ni-DI ในทุกระดับความเข้มข้นของเมทิลออเรนจ์ โดยที่ความเข้มข้น 20 mg/L MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ดูดซับได้ 141.73 และ 98.67 mg/g ตามลำดับ ความเข้มข้น 50 mg/L MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ดูดซับได้ 195.59 และ 120.32 mg/g และความเข้มข้น 100 mg/L MOF-Ni-DMF ดูดซับได้ 499.44 mg/g ในขณะที่ MOF-Ni-DI ดูดซับได้ 74.68 mg/g (ภาพที่ 4ก) การดูดซับเมทิลออเรนจ์ MOF-Ni-DMF มีประสิทธิภาพสูงกว่า MOF-Ni-DI ในทุกความเข้มข้น โดยที่ความเข้มข้น 20, 50 และ 100 mg/L วัสดุ MOF-Ni-DMF มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 99.52%, 99.02% และ 89.10% ตามลำดับ ขณะที่ MOF-Ni-DI มีประสิทธิภาพเท่ากับ 69.28%, 60.91% และ 12.08% ตามลำดับ (ภาพที่ 4ข)

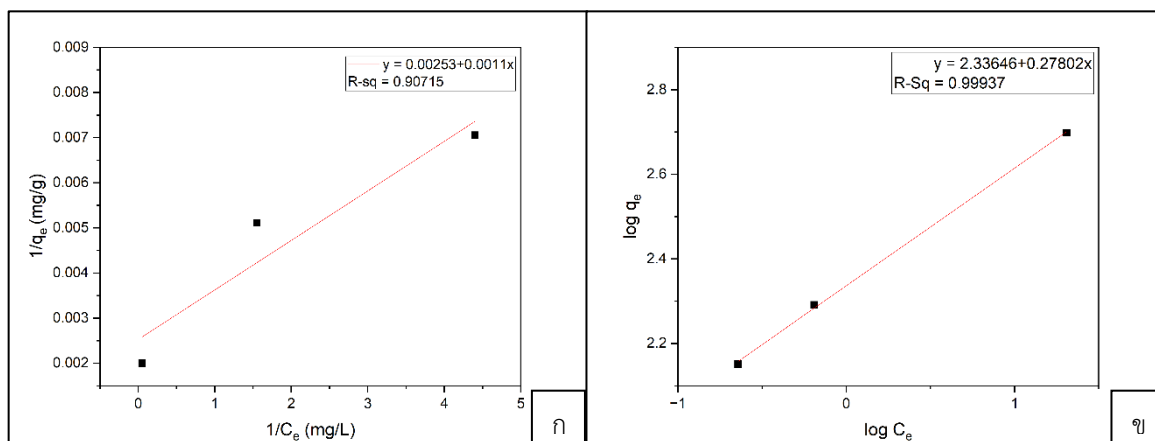


ภาพที่ 4 (ก) ความสามารถในการดูดซับของ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI

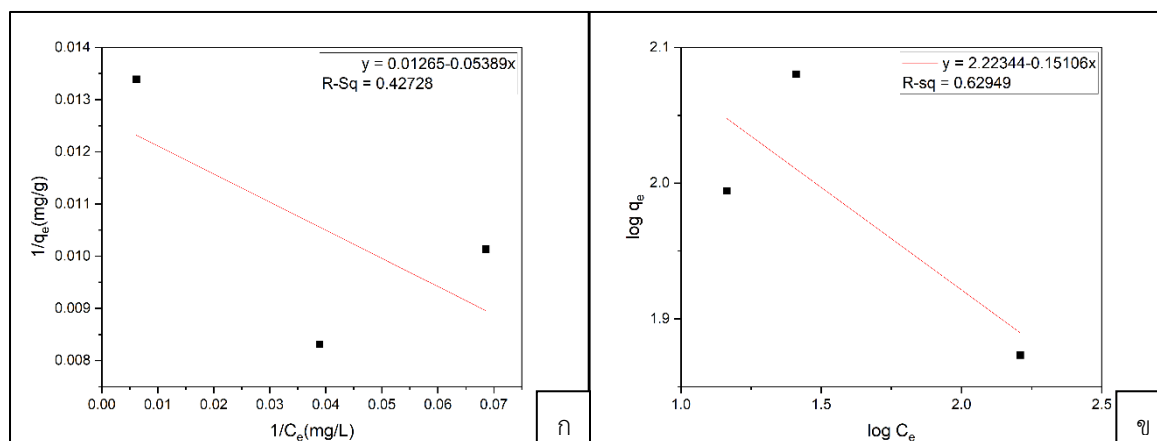
(ข) ประสิทธิภาพในการดูดซับของ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI

นอกจากนี้ การวิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับพบว่า MOF-Ni-DMF ในแบบจำลอง Langmuir Isotherm ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.90715 และแบบจำลอง Freundlich Isotherm ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.99937 (ภาพที่ 5ข) ในขณะที่ MOF-Ni-DI ในแบบจำลอง Langmuir Isotherm ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.42728 และแบบจำลอง Freundlich Isotherm ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.62949 (ภาพที่ 6ข) ซึ่งแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับเมื่อเริ่มต้นการดูดซับ

สารละลายจะไปเกาะกับพื้นที่บนพื้นผิวของวัสดุดูดซับในช่วงนี้การดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีพื้นที่ว่างบนพื้นผิวมาก และเมื่อพื้นที่บนพื้นผิวของวัสดุดูดซับเริ่มเต็มการดูดซับจะเริ่มชะลอตัวลง (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 5 Adsorption Isotherm ของ MOF-Ni-DMF (ก) Langmuir Isotherm และ (ข) Freundlich Isotherm



ภาพที่ 6 Adsorption isotherm ของ MOF-Ni-DI (ก) Langmuir model และ (ข) Freundlich model

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของการดูดซับแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm

Adsorbent	Langmuir Isotherm			Freundlich Isotherm		
	q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	$1/n$ (L/mg)	K_f (mg/g)	R^2
MOF-Ni-DMF	27.690	22.567	0.907	0.278	10.345	0.9994
MOF-Ni-DI	40.130	0.193	0.427	-0.1511	9.2387	0.6295

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

5.1 อภิปรายผล

5.1.1 ผลการสังเคราะห์วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์ (Metal–Organic Frameworks; MOF)

วัสดุ MOF ที่สังเคราะห์ได้ทั้งสองชนิด ได้แก่ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI มีลักษณะเป็นผงสีขาวอ่อนพบว่า MOF-Ni-DI มีลักษณะเกาะกลุ่มแน่นมากกว่า MOF-Ni-DMF ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับ pH ระหว่างการสังเคราะห์

5.1.2 การศึกษาลักษณะสมบัติของวัสดุ

(1) การศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) พบว่า MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ปรากฏสเปกตรัมแสดงดังภาพที่ 2 โดยปรากฏสเปกตรัมของ Ni-O บริเวณ 720 cm^{-1} สเปกตรัมหมู่คาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}$) กับโลหะนิกเกิล ในช่วง $1600\text{--}1350\text{ cm}^{-1}$ สเปกตรัมหมู่คาร์บอนิล ($\text{C}=\text{O}$) บริเวณ 1720 cm^{-1} และสเปกตรัมหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) บริเวณ 3400 cm^{-1} จะเห็นได้ว่าโลหะและสารอินทรีย์มีการสร้างพันธะกันโดยมีทั้งโลหะนิกเกิล และ BTC อยู่ในโครงสร้างของทั้งสองจึงมีโอกาสเป็น MOF โดยมีโครงสร้างสอดคล้องกับงานวิจัยของ Du และคณะ [19] รายงานว่าการสังเคราะห์ MOF ที่ใช้โลหะนิกเกิลและ BTC เป็นลิแกนด์อินทรีย์ร่วมกับตัวทำละลาย DMF และน้ำ โดยจากการศึกษาพบว่า MOF 1-1 ที่สังเคราะห์ได้ มีตำแหน่งสเปกตรัมจากการตรวจวัด FTIR ที่สอดคล้องกับตำแหน่งสเปกตรัมของหมู่คาร์บอกซิเลต ที่ช่วง $1620\text{--}1380\text{ cm}^{-1}$ และหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) บริเวณ 3400 cm^{-1} ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดพันธะระหว่างไอออนโลหะนิกเกิลและตัวเชื่อมสารอินทรีย์ ซึ่งในการสังเคราะห์ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ปรากฏสเปกตรัมใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ และในส่วนของ MOF-Ni-DI ที่มีการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายนั้นปรากฏสเปกตรัมของหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) บริเวณ 3400 cm^{-1} เช่นเดียวกับงานวิจัยดังกล่าวนอกจากนี้ยังปรากฏสเปกตรัมที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Herlina, Krisnandi และ Ridwan [20] ที่มีการสังเคราะห์ Ni-BTC พบสเปกตรัมในช่วง $1400\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นบริเวณที่แสดงถึงหมู่คาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}$) ที่เกิดจากการสร้างพันธะระหว่างหมู่คาร์บอกซิเลตของ BTC กับโลหะนิกเกิล โดยพีคที่ประมาณ $1570\text{--}1625\text{ cm}^{-1}$ และที่ประมาณ $1380\text{--}1440\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่คาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}$) และงานวิจัยของ Chen และคณะ [13] พบสเปกตรัมของการสังเคราะห์ Ni-MOF ของหมู่คาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}$) ที่ตำแหน่งประมาณ 1608 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบที่ตำแหน่ง 720 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นของพันธะ Ni-O ซึ่งในการสังเคราะห์ทั้ง MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ต่างก็ปรากฏสเปกตรัมช่วงเดียวกันกับงานวิจัยดังกล่าว (ภาพที่ 2)

(2) การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยรังสีเอ็กซ์เรย์ (XRD)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยรังสีเอ็กซ์เรย์ (XRD) พบว่า MOF-Ni-DMF ที่ใช้ DMF ปรากฏพีคที่มีความคมชัดแสดงถึงโครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบ (Crystalline Structure) โดยปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 9.99° , 17.74° , 18.85° , 20.20° , 27.38° , และ 35.84° และ MOF-Ni-DI ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายปรากฏพีคที่มีลักษณะไม่คมชัดที่ตำแหน่ง 2θ ประมาณ $10\text{--}50^\circ$ (ภาพที่ 3) ซึ่งแสดงถึงลักษณะของวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกที่เป็นโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous Structure) พีคที่ปรากฏมีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของ Radhika และคณะ โดยนำ Nickel (II) nitrate, BTC และ DMF นำไปศึกษาลักษณะสมบัติของวัสดุโดยเทคนิค XRD ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ 11.8° , 18.01° , 20.83° , 22.28° , 23.83° และ 33.48° ซึ่งปรากฏพีคที่ใกล้เคียงกับ MOF-Ni-DMF

[14] และจากงานวิจัยของ Du และคณะที่มีการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายพบว่าพิกมัลักษณะเป็นแถบกว้างและไม่คมชัด เช่นเดียวกับ MOF-Ni-DI [19]

(3) การวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าผิว (Zeta Potential)

การวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าผิวที่ pH 5 แสดงว่า MOF-Ni-DMF มีค่า -12.7 mV และ MOF-Ni-DI มีค่า -15.2 mV ซึ่งมีประจุลบที่ผิวสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากตัวทำละลายมีผลต่ออัตราการตกผลึก (Crystallization Rate) ขนาดผลึก (Crystal Size) โครงสร้างผลึก (Crystal Structure) [21] โดยจากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกพบว่าชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อความเป็นผลึกของ MOF ที่สังเคราะห์ได้ซึ่ง MOF-Ni-DMF ที่ใช้ DMF เป็นตัวทำละลายนั้นมีโครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบเนื่องจาก DMF เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็น Polar Aprotic Solvents คือเป็นตัวทำละลายที่สามารถละลายทั้งโลหะและลิแกนด์อินทรีย์ได้ดี ไม่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งจะทำให้การเกิดผลึกนั้นไม่มีการรบกวน ทำให้ได้ผลึกขนาดใหญ่และเป็นระเบียบ ในขณะเดียวกัน MOF-Ni-DI ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายนั้นมีการจัดเรียงตัวของผลึกที่เป็นโครงสร้างอสัณฐานเนื่องจากน้ำเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็น Polar Protic Solvents คือเป็นตัวทำละลายที่เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ดี ซึ่งจากการศึกษาหุ้ฟงักชันด้วยเทคนิค อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีจะแสดงให้เห็นถึงพันธะไฮโดรเจนของ MOF-Ni-DI (ภาพที่ 2) และน้ำจะส่งเสริมการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับลิแกนด์อินทรีย์และโลหะ ทำให้เกิดกลุ่มคาร์บอกซิเลตที่ผิวมากขึ้น และทำให้ค่า Zeta Potential เป็นลบมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่ MOF-Ni-DI ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมีค่า Zeta Potential เป็น -15.2 mV มีความเป็นลบมากกว่า MOF-Ni-DMF ที่ใช้ DMF ซึ่งมีค่า -12.7 mV

5.1.3 การดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์

การศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์โดยใช้ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของเมทิลออเรนจ์เท่ากับ 20, 50 และ 100 mg/L โดยใช้วัสดุดูดซับในปริมาณ 10 mg ต่อปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ 30 mL ที่ค่า pH 5.6 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทดสอบในช่วงเวลา 20, 40, 60 และ 80 นาที โดยมีการกวนตลอดระยะเวลาสัมผัส ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในเวลา 40 นาที เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับ ณ เวลาดังกล่าวพบว่า MOF-Ni-DMF มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่า MOF-Ni-DI ในทุกระดับความเข้มข้นของเมทิลออเรนจ์ โดยที่ความเข้มข้น 20 mg/L MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ดูดซับได้ 141.73 และ 98.67 mg/g ตามลำดับ ความเข้มข้น 50 mg/L MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI ดูดซับได้ 195.59 และ 120.32 mg/g และความเข้มข้น 100 mg/L MOF-Ni-DMF ดูดซับได้ 499.44 mg/g ในขณะที่ MOF-Ni-DI ดูดซับได้ 74.68 mg/g (ภาพที่ 4ก) การดูดซับเมทิลออเรนจ์ MOF-Ni-DMF มีประสิทธิภาพสูงกว่า MOF-Ni-DI ในทุกความเข้มข้น โดยที่ความเข้มข้น 20, 50 และ 100 mg/L วัสดุ MOF-Ni-DMF มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 99.52%, 99.02% และ 89.10% ตามลำดับ ขณะที่ MOF-Ni-DI มีประสิทธิภาพเท่ากับ 69.28%, 60.91% และ 12.08% ตามลำดับ (ภาพที่ 4ข) ซึ่งในงานวิจัยของ Tran และคณะ [22] พบว่า MOF-Ni-DMF มีความสามารถในการดูดซับมากกว่า Fe-MOF ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L Fe-MOF สามารถดูดซับเมทิลออเรนจ์ได้ 130.5 mg/g นอกจากนี้นงานวิจัยของ Haque และคณะ [15] พบว่า MOF-235 ซึ่งเป็น Fe-based MOF มีค่าความสามารถในการดูดซับสูงมากถึง 477 mg/g ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก MOF-Ni-DMF

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับมีเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับและปริมาณสารที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล โดยทั่วไปเมื่อเริ่มต้นกระบวนการดูดซับ โมเลกุลของสารละลายจะเข้าไปยึดเกาะกับพื้นที่ว่างบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับ ส่งผลให้การดูดซับเพิ่มขึ้นและเมื่อพื้นที่ในการดูดซับบนพื้นผิวเริ่มเต็ม

อัตราการดูดซับจะชะลอตัวจนเข้าสู่จุดอิ่มตัว จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมการดูดซับของวัสดุ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI มีความแตกต่างกัน สำหรับวัสดุ MOF-Ni-DMF ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองของ Freundlich โดย R^2 เท่ากับ 0.99937 (ภาพที่ 5ข) บ่งชี้ว่ากระบวนการดูดซับเกิดขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุที่มีความไม่สม่ำเสมอ (Heterogeneous Surface) และมีลักษณะการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer Adsorption) [23] ส่วน MOF-Ni-DI นั้นไม่สัมพันธ์กับแบบจำลองทั้งสองแบบ เนื่องจากค่า R^2 อยู่ในระดับที่ต่ำ ในส่วนของแบบจำลอง Langmuir ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.42728 (ภาพที่ 6ก) และแบบจำลอง Freundlich ค่า R^2 เท่ากับ 0.62949 (ภาพที่ 6ข) ซึ่งการดูดซับแบบจำลอง Freundlich Isotherm เป็นการดูดซับบนพื้นผิวที่มีความไม่สม่ำเสมอ และมีลักษณะการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer Adsorption) จากสมการพบว่าค่าความชัน ($1/n$) มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งบ่งชี้ถึงพฤติกรรมการดูดซับที่เกิดได้ดีในช่วงความเข้มข้นต่ำ และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น [23] โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการดูดซับเมทิลออเรนจ์มีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้น 20 mg/L ทั้ง MOF-Ni-DMF ซึ่งสอดคล้องกับสมการการดูดซับที่มีการดูดซับได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำ โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 99.52% จากงานวิจัยของ Karami และคณะ [24] พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับเมทิลออเรนจ์ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ MOF-Ni-DMF และ MOF-Ni-DI สามารถดูดซับได้สูงสุดเมื่อความเข้มข้นเมทิลออเรนจ์สูงขึ้น วัสดุดูดซับเมทิลออเรนจ์มักจะเข้าสู่สมดุลได้รวดเร็วภายในระยะเวลา 60 นาที [25] ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่การดูดซับเมทิลออเรนจ์เข้าสู่สมดุลในเวลา 40 นาที จากบทความวิจัยของ Tran และคณะพบว่า ในส่วนแบบจำลอง Freundlich Isotherm ค่า $1/n$ มีค่าติดลบ (-0.1511) ซึ่งตามทฤษฎีการดูดซับแล้ว เมื่อความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุลเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับกลับลดลง มักมีสาเหตุหลักมาจากการที่ระบบการทดลองยังไม่เข้าสู่ภาวะสมดุลจริง หรือมีปรากฏการณ์อื่นแทรกซ้อน เช่น การจับตัวกันเองของโมเลกุลสีย้อมเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมให้สูงขึ้น หรือการเกิดการคายซับ ทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลการดูดซับของ MOF-Ni-DI ไม่สอดคล้องกับแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich [26]

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับเพิ่มเติม เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) รวมถึงปริมาณที่เหมาะสมของตัวดูดซับ (Adsorbent Dosage) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Condition) ในการกำจัดสีย้อม

5.2.2 ควรมีการศึกษาลักษณะสมบัติของ MOF ที่สังเคราะห์ได้เพิ่มเติม โดยเฉพาะสมบัติที่มีผลโดยตรงต่อกลไกการดูดซับ เช่น การวิเคราะห์พื้นผิว (Surface Analysis) เช่น การวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Surface Area) ความพรุน (Pore Size Distribution) เป็นต้น เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของวัสดุกับความสามารถในการดูดซับได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

5.2.3 ควรมีการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจริง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ MOF ที่สังเคราะห์ได้ ในการดูดซับสีย้อมในสภาวะน้ำเสียจริง ซึ่งมีองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนอยู่ เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง รวมถึงการศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำไปใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัย และสร้างนวัตกรรม สัญญาเลขที่ B40G660035

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Norarmi, N. F. B., Tajudin, N. H. B., Hafizo, N. S. H. B., Luzi, W. N. S. B. W. M., Amin, N. A. B. M., Aziz, S. F. N. B., & Musa, A. B. H. (2022). A Review on Textile and Clothing Industry Impacts on the Environment. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 12(10), 2137 – 2146.
- [2] Lin, J., Ye, W., Xie, M., Seo, D.H., Luo, J., Wan, Y., Bruggen, B.V. (2023). Environmental Impacts and Remediation of Dye-Containing Wastewater. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(2023), 785–803.
- [3] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2560). *ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560*. ราชกิจจานุเบกษา, 134 (ตอนพิเศษ 253 ง), 11–15.
- [4] วนิดา ชูอักษร. (2555). เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 17(1), 181–191.
- [5] Periyasamy, A. P. (2024). Recent Advances in the Remediation of Textile-dye-containing Wastewater: Prioritizing Human Health and Sustainable Wastewater Treatment. *Sustainability*, 16(2), 495.
- [6] Thakur, S., & Bharti, S. (2024). Unlocking the Potential of Metal–Organic Frameworks: A Review on Synthesis, Characterization, and Multifaceted Applications. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 34, 4477–4508.
- [7] Ali, A. N. (2024). A comprehensive study of natural and synthetic dyes: their properties, methods of preparation, and uses. *SHIFAA*, 2024, 1-17. <https://doi.org/10.70470/SHIFAA/2024/001>
- [8] Tkaczyk, A., Mitrowska, K., & Posyniak, A. (2020). Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of The Total Environment*, 717, 137222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137222>
- [9] Al-Tohamy, R., Ali, S. S., Li, F., Okasha, K. M., Mahmoud, Y. A.-G., Elsamahy, T., Jiao, H., Fu, Y., & Sun, J. (2022). A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231, 113160. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>

-
- [10] Azanaw, A., Birlie, B., Teshome, B., & Jemberie, M. (2022). Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100230. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100230>
- [11] Yusuf, V. F., Malek, N. I., & Kailasa, S. K. (2022). Review on metal–organic framework classification, synthetic approaches, and influencing factors: Applications in energy, drug delivery, and wastewater treatment. *ACS Omega*, 7(49), 44507–44531. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05310>
- [12] Dutta, S., Gupta, B., Srivastava, S. K., & Gupta, A. K. (2021). Recent advances on the removal of dyes from wastewater using various adsorbents: A critical review. *Materials Advances*, 2(14), 4497–4531. <https://doi.org/10.1039/D1MA00354B>
- [13] Chen, J., Wang, C., Li, X., & Zhang, Z. (2023). Metal Organic Framework Derived NiOx Nanoparticles for Application as a Hole Transport Layer in Perovskite Solar Cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 11(7), 3314–3325.
- [14] Radhika, M., Gopalakrishna, B., Chaitra, K., Bhatta, L.K.G., Venkatesh, K., Kamath, M.K.S., & Kathyayini, N. (2020). Electrochemical studies on Ni, Co & Ni/Co-MOF for High-performance Hybrid Supercapacitors. *Materials Research Express*, 7(5), 054003.
- [15] Haque, E., Jun, J. W., & Jhung, S. H. (2011). Adsorptive Removal of Methyl Orange and Methylene Blue from Aqueous Solution with a Metal-organic Framework Material, Iron Terephthalate (MOF-235). *Journal of Hazardous Materials*, 185(1), 507-511.
- [16] Ragui, P., Yadav, A., Goyal, S., Rani, S., Goel, V. K., & Sharma, R. K. (2025). Bimetallic MOFs for the effective removal of organic contaminants: Dyes and antibiotics. *Colloids and Surfaces C: Environmental Aspects*, 3, 100070.
- [17] Zhao, S., Chen, D., Wei, F., Chen, N., Liang, Z., & Luo, Y. (2017). Removal of Congo red dye from aqueous solution with nickel-based metal-organic framework/graphene oxide composites prepared by ultrasonic wave-assisted ball milling. *Ultrasonics Sonochemistry*, 39, 845–852.
- [18] Arroussi, A., Laksaci, H., Mokri, H., & Boukli-Hacene, L. (2025). Synthesis and Characterization of Ni based Metal Organic Framework for Enhancing the Removal of Typical Organic Dyes. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 64(7), 785–800.
- [19] Du, P., Dong, Y., Liu, C., Wei, W., Liu, D., & Liu, P. (2018). Fabrication of Hierarchical Porous Nickel Based Metal-Organic Framework (Ni-MOF) Constructed with Nanosheets as Novel Pseudo-Capacitive Material for Asymmetric Supercapacitor. *Journal of Colloid and Interface Science*, 518, 57-68.
- [20] Herlina, I., Krisnandi, Y.K., & Ridwan, M. (2024). MOF-199 and Ni-BTC: Synthesis, Physicochemical Properties, and Catalytic Activity in Oxidation of 5 -Hydroxymethylfurfural. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 18 (4), 724-735.

- [21] Soni, S., Bajpai, P.K. & Arora, C. (2019). A Review on Metal-Organic Framework: Synthesis, Properties and Application. *Characterization and Application of Nanomaterials*, 3(2), 87-106.
- [22] Tran, K. N. T., Phan, C. P. K., Ho, V. T., Chau, H. D., & Nguyen, T. N. D. (2023). Adsorption of Methyl Orange Dyes on Oriented Co/Fe-MOF Bimetallic Organic Framework in Wastewater Treatment. *Indonesian Journal of Chemistry*, 23(2), 533–541.
- [23] Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2-10.
- [24] Karami, A., Shomal, R., Sabouni, R., Al-Sayah, M. H., & Aidan, A. (2022). Parametric Study of Methyl Orange Removal Using Metal–Organic Frameworks Based on Factorial Experimental Design Analysis. *Energies*, 15(13), 4642.
- [25] Hasanzadeh, M., Simchi, A., & Far, H. S. (2019). Kinetics and Adsorptive Study of Organic Dye Removal Using Water-Stable Nanoscale Metal Organic Frameworks. *Materials Chemistry and Physics*, 233, 267-275.
- [26] Tran, H. N., You, S. J., Hosseini-Bandegharai, A., & Chao, H. P. (2017). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review. *Water Research*, 120, 88-116

การพัฒนาแอปพลิเคชันจองนวดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล

THE DEVELOPMENT OF THAI CARE TOUCH APPLICATION: ENHANCING THAI TRADITIONAL MASSAGE BOOKING SERVICES IN SUBDISTRICT HEALTH PROMOTING HOSPITALS

พงษ์พิพัฒน์ จินตวง *¹, โอโป กัลป์สกุล ², สุพัตรา จินตวง ³

Phongpiphut Jeenduang *¹, O-por Klubsakul ², Suphatta Jeenduang ³

*¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีธุรกิจดิจิทัล วิทยาลัยอาชีวศึกษาพิษณุโลก

² สาขาวิชาเทคโนโลยีธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

³ สาขาคอมพิวเตอร์ ศูนย์การศึกษาพิเศษ เขตการศึกษา 7 จังหวัดพิษณุโลก

*¹ Digital Business Technology, Phitsanulok Vocational College

² Digital Business Technology, Faculty of Management Science, Chandrakasem Rajabhat
University

³ Computer Studies Program, Special Education Center, Education Area 7, Phitsanulok Province

* E-mail: Phongpiphut@gmail.com

วันที่รับบทความ 6 พฤศจิกายน 2568 วันที่แก้ไขบทความ 11 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 27 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อวิเคราะห์และออกแบบแอปพลิเคชันจองนวดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล 2) เพื่อสร้างต้นแบบแอปพลิเคชันจองนวดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล และ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันจองนวดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ได้แก่ 1) ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านแอปพลิเคชันที่มีประสบการณ์ไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 3 คน 2) ผู้มาใช้บริการนวดแผนไทย จำนวน 95 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสัมภาษณ์เชิงลึก ต้นแบบแอปพลิเคชัน และแบบประเมินความพึงพอใจ

ผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชัน Thai Care Touch ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้กระบวนการ Design Thinking และการออกแบบ UX/UI ที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง สามารถตอบสนองต่อความต้องการและแก้ไขปัญหาของผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการออกแบบในขั้น Empathize และ Define ทำให้สามารถระบุ pain points ที่สำคัญ ได้แก่ ไม่สามารถเห็นคิวว่างแบบเรียลไทม์ ขาดระบบแจ้งเตือน ขั้นตอนการจองซับซ้อน และภาระงานของเจ้าหน้าที่สูง จากนั้นจึงสังเคราะห์ข้อกำหนดเชิงออกแบบและพัฒนาต้นแบบที่ประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก เช่น ระบบเข้าสู่ระบบหลายช่องทาง การเลือกบริการและเวลาว่างแบบเรียลไทม์ การยืนยันและจัดการคิวด้วยตนเอง ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ และแบบประเมินความพึงพอใจ ทั้งนี้ผลการทดลองต้นแบบแอปพลิเคชันกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 95 คน พบว่า ผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ทั้งด้านฟังก์ชันการใช้งาน (ค่าเฉลี่ย = 4.77 ,

S.D. = 0.44) และด้านการออกแบบระบบ (ค่าเฉลี่ย = 4.68, S.D. = 0.52) โดยเฉพาะระบบแจ้งเตือนและการยืนยันการจองที่ได้รับคะแนนสูงสุด (ค่าเฉลี่ย = 4.90) สะท้อนว่าเป็นฟังก์ชันที่ผู้ใช้ให้ความสำคัญมากที่สุด

คำสำคัญ: การพัฒนา; แอปพลิเคชัน; นวดแผนไทย; โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล

ABSTRACT

This research aimed to: 1) analyze and design a Thai traditional massage booking application for Subdistrict Health Promoting Hospitals, 2) develop a prototype of the Thai Care Touch application, and 3) evaluate user satisfaction with the application. The sample group consisted of two groups: (1) three experts with at least five years of experience in application development, selected by purposive sampling, and (2) There were 95 people who used Thai traditional massage services at Subdistrict Health Promoting Hospitals. The research instruments used were an in-depth interview, a prototype application, and a user satisfaction questionnaire.

The results revealed that the Thai Care Touch application, developed using the Design Thinking process and user-centered UX/UI design, effectively addressed user needs and solved existing problems in the traditional booking process. The Empathize and Define stages identified key pain points, such as the inability to view real-time booking slots, lack of notification systems, complex booking procedures, and high workloads for staff. Based on these findings, design requirements were synthesized to create a prototype that included main features such as multi-channel login, real-time service and slot selection, self-managed booking confirmation and modification, automated notifications, and a satisfaction evaluation system. Testing with thirty users showed that the overall satisfaction level was at the highest level in both functionality (Mean = 4.77, S.D. = 0.44) and system design (Mean = 4.68, S.D. = 0.52). The notification and booking confirmation feature received the highest score (Mean = 4.90), indicating that users considered it the most valuable function.

Keywords: Development; Application; Thai Traditional Massage; Subdistrict Health Promoting Hospital

1. บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีสารสนเทศมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คน ทั้งในด้านการติดต่อสื่อสาร การศึกษา การทำงาน และการดูแลสุขภาพ การเข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่สะดวกและครอบคลุมมากขึ้น ทำให้การใช้สมาร์ตโฟนกลายเป็นปัจจัยที่จำเป็นในการดำรงชีวิต โดยสมาร์ตโฟนไม่เพียงทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสื่อสาร แต่ยังเป็นแพลตฟอร์มสำหรับการเข้าถึงบริการหลากหลายรูปแบบ ทั้งด้านการเงิน การซื้อขายสินค้าออนไลน์ และบริการด้านสุขภาพ [1]

จากข้อมูลผลการสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย Thailand Internet User Behavior 2568 โดยสำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (สพธอ.) ได้สำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทยพบว่า ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตใช้เวลาออนไลน์เฉลี่ย 7 ชั่วโมง 54 นาทีต่อวัน และในจำนวนนั้น ประมาณ 5 ชั่วโมง เกิดขึ้นบนสมาร์ตโฟน สะท้อนบทบาทของอุปกรณ์พกพาในการเข้าถึงบริการและข้อมูล ซึ่งการใช้งานอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยมีสถิติสูงกว่าค่าเฉลี่ยการใช้อินเทอร์เน็ตบนมือถือของโลกที่เฉลี่ยประมาณ 3 ชั่วโมง 46 นาทีต่อวัน ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงโอกาสของบริการดิจิทัลที่ออกแบบบนมือถือเป็นศูนย์กลาง [2] ดังนั้น แนวโน้มการใช้สมาร์ตโฟนที่แพร่หลายและความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศ จึงเป็นโอกาสสำคัญในการพัฒนา นวัตกรรมด้านสุขภาพ โดยเฉพาะการสร้างแอปพลิเคชันที่ช่วยเพิ่มความสะดวกและประสิทธิภาพในการเข้าถึงบริการต่าง ๆ อันสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ตโฟนในชีวิตประจำวันของประชาชน

การประยุกต์ใช้ Mobile Application กลายเป็นกลไกสำคัญของการยกระดับบริการสุขภาพในทุกระดับ โดยเฉพาะบริการปฐมภูมิและชุมชน เนื่องจากช่วยให้ผู้รับบริการเข้าถึงข้อมูลสุขภาพ การติดตามอาการ การให้คำปรึกษา และการเตือนนัดหมายได้อย่างต่อเนื่องผ่านอุปกรณ์ที่คุ้นเคย ส่งผลต่อการพึ่งพาตนเองของผู้ป่วยและประสิทธิภาพของการดูแล [3] และหนึ่งในบริการสุขภาพที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือการนัดหมายไทย ซึ่งได้ถูกบูรณาการเป็นส่วนหนึ่งของบริการสุขภาพ ทั้งในโรงพยาบาลชุมชนและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล โดยมีหน่วยงานนโยบายและวิชาชีพกำกับดูแลมาตรฐานบริการอย่างเป็นระบบ อาทิ กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก (DTAM) และเกณฑ์มาตรฐานสถานพยาบาลที่รองรับบริการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ผสมผสาน [4]

โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล (รพ.สต.) มีบทบาทสำคัญในการให้บริการสุขภาพปฐมภูมิแก่ประชาชนในชุมชน รวมถึงบริการแพทย์แผนไทยและการนัดเพื่อการบำบัด ฟันฟู และส่งเสริมสุขภาพ อย่างไรก็ตาม กระบวนการจองคิวนัดหมายในหลายพื้นที่ยังคงยึดวิธีการแบบดั้งเดิม คือ ผู้รับบริการต้องเดินทางมาที่จุดรับบริการเพื่อแจ้งความประสงค์และลงชื่อคิวด้วยตนเอง หรือโทรศัพท์ติดต่อเจ้าหน้าที่ซึ่งบันทึกข้อมูลด้วยเอกสารหรือสมุดนัดหมาย วิธีการดังกล่าวก่อให้เกิดความล่าช้า ไม่เอื้อต่อการวางแผนเข้ารับบริการล่วงหน้า และสร้างภาระด้านเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้สูงอายุ ผู้พิการ ผู้มีภาระงานประจำ และผู้ที่อาศัยอยู่ห่างไกลจุดบริการ

ความล่าช้าของขั้นตอนจองคิวส่งผลให้เกิดปัญหาซ้ำซ้อนหลายประการในเชิงการบริหารจัดการบริการสาธารณสุข ประการแรก คือ ความไม่สะดวกในการเข้าถึงข้อมูลตารางว่าง ผู้รับบริการไม่สามารถตรวจสอบช่วงเวลาให้บริการแบบเรียลไทม์ ทำให้ต้องเดินทางมาสอบถามหรือโทรศัพท์หลายครั้งกว่าจะได้ช่วงเวลาที่เหมาะสม ประการที่สอง คือ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและการจัดคิว เช่น การจองเกินขีดความสามารถ หรือการนัด

หมายทับซ้อน ซึ่งมักเกิดจากการพึ่งพาการบันทึกด้วยมือและการสื่อสารปากเปล่า ประการที่สาม คือ การขาดระบบแจ้งเตือนและติดตามนัดหมาย ส่งผลให้เกิดการลืมนัดหรือมาช้า ทำให้ทรัพยากรบุคลากรและเวลาให้บริการไม่ได้รับการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ [5]

ในระดับระบบงาน เจ้าหน้าที่ต้องใช้เวลาและแรงงานจำนวนมากในการรับโทรศัพท์ สอบถามข้อมูล ยืนยันคิว และแก้ไขตารางนัดหมายที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ภายใต้บริบทที่บุคลากรมีจำนวนจำกัด งานเอกสารจำนวนมากยังเป็นอุปสรรคต่อความโปร่งใสและการตรวจสอบย้อนหลัง โดยเฉพาะเมื่อจำเป็นต้องรวบรวมสถิติเพื่อวางแผนกำลังคน เครื่องมือ อุปกรณ์ และสมุนไพรรูปที่ที่ใช้ในการให้บริการ [6] นอกจากนี้ การไม่มีแพลตฟอร์มกลางสำหรับจัดการข้อมูลการนัดหมายยังยากต่อการบูรณาการกับข้อมูลผู้รับบริการ การติดตามผลลัพธ์ทางสุขภาพ และการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงคุณภาพบริการอย่างต่อเนื่อง แม้ในปัจจุบันประชาชนจำนวนมากมีสมาร์ตโฟนและคุ้นเคยกับบริการออนไลน์ แต่รูปแบบการจ้องคิวของบริการนัดหมายใน รพ.สต. ยังไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมดิจิทัลของผู้ใช้บริการ การขาดระบบดิจิทัลที่เอื้อต่อการเลือกช่วงเวลา ยืนยันคิว รับการแจ้งเตือน ยกเลิกหรือเลื่อนนัดด้วยตนเอง ทำให้ประสบการณ์ผู้รับบริการไม่ราบรื่น เทียบกับมาตรฐานบริการสาธารณสุขยุคใหม่ที่เน้นความสะดวก ความเท่าเทียมในการเข้าถึง และความโปร่งใสของข้อมูล [7]

จากปัญหาและแนวคิดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาแอปพลิเคชันจองนัดหมายใน รพ.สต. สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล เพื่อวิเคราะห์และออกแบบแอปพลิเคชัน และเพื่อสร้างต้นแบบแอปพลิเคชันจองนัดหมายใน รพ.สต. สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล ซึ่งแอปพลิเคชันจะทำหน้าที่เป็นแพลตฟอร์มกลางให้ผู้รับบริการสามารถตรวจสอบตารางว่าง เลือกช่วงเวลา เลือกประเภทบริการหรือผู้นัด ยืนยันคิว รับการแจ้งเตือน และจัดการนัดหมายได้ด้วยตนเอง ขณะเดียวกัน ผู้ให้บริการสามารถบริหารจัดการตาราง ลดความผิดพลาดของข้อมูล ลดภาระงานเอกสาร และนำข้อมูลเชิงสถิติไปใช้ในการวางแผนคุณภาพบริการต่อเนื่อง การพัฒนา “Thai Care Touch” จึงมีที่มาจากความจำเป็นในการยกระดับกระบวนการจองคิวที่ล้าสมัยไปสู่ระบบดิจิทัลที่สะดวก รวดเร็ว โปร่งใส และเท่าเทียม ตอบสนองต่อเป้าหมายการเพิ่มประสิทธิภาพบริการและยกระดับประสบการณ์ของผู้รับบริการและบุคลากรในระบบสุขภาพระดับปฐมภูมิอย่างแท้จริง

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Mobile Health (mHealth) คือการใช้เทคโนโลยีอุปกรณ์พกพา และแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการดูแลสุขภาพ การส่งเสริมสุขภาพ การติดตามอาการ และการสื่อสารระหว่างผู้ให้บริการกับผู้รับบริการอย่างต่อเนื่องในบริบทชีวิตประจำวันของผู้ใช้ [1] งานวิจัยจำนวนมากชี้ว่า mHealth ช่วยยกระดับการเข้าถึงบริการ ความต่อเนื่องของการดูแล และการยึดมั่นต่อคำแนะนำ (adherence) โดยเฉพาะในบริการปฐมภูมิและชุมชนซึ่งต้องอาศัยการติดตามอย่างสม่ำเสมอ [3]

2. การนัดหมายใน รพ.สต. กับระบบบริการสุขภาพ การนัดหมายใน รพ.สต. ได้รับการบูรณาการอยู่ในระบบบริการสุขภาพของไทย ทั้งในโรงพยาบาลชุมชนและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล (รพ.สต.) ภายใต้การกำกับมาตรฐานโดยกรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก (DTAM) ซึ่งกำหนดขอบเขตบริการ คุณภาพ และความปลอดภัยอย่างเป็นระบบ [4]

3. ระบบการจองคิวออนไลน์ (Online Booking Systems) ในบริบทสุขภาพ ระบบจองคิวออนไลน์ช่วยลดภาระงานเอกสาร ลดความผิดพลาดจากการจดมือ ลดการนัดซ้ำซ้อน เพิ่มความโปร่งใส และช่วยให้ผู้รับบริการสามารถจัดการนัดหมายได้ด้วยตนเอง [7] หลายกรณีศึกษาของหน่วยบริการปฐมภูมิพบว่า การเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มสุขภาพที่คุ้นเคยของประชาชน เช่น กรณี “หมอพร้อม” ช่วยเพิ่มความพร้อมของข้อมูลและลดเวลารอคอย [5] อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบบ่อยในระบบดั้งเดิม ได้แก่ การเข้าถึงตารางว่างแบบเรียลไทม์ไม่ได้ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และการขาดระบบเตือนนัด [6] ดังนั้น สถาปัตยกรรมระบบจองคิวจึงควรเรียลไทม์ โปร่งใส เชื่อมโยงข้อมูล และรองรับการยกเลิกหรือเลื่อนนัดด้วยตนเอง เพื่อให้สอดคล้องมาตรฐานบริการยุคดิจิทัล

4. การออกแบบ UX/UI มีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จของแอปพลิเคชัน เนื่องจาก UX มุ่งเน้นที่ “ประสบการณ์” โดยรวมของผู้ใช้ ในขณะที่ UI เน้น “หน้าตาและปฏิสัมพันธ์” ที่ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้สะดวก และถูกต้อง [8] [9] หลักการออกแบบ UX/UI ที่ดีควรทำให้ผู้ใช้บรรลุเป้าหมายได้ง่าย รวดเร็ว และลดความสับสน เช่น การจัดลำดับข้อมูลตามความสำคัญ การใช้ปุ่มและข้อความที่ชัดเจน การออกแบบฟอร์มที่ป้องกันความผิดพลาด และระบบแจ้งเตือนที่เหมาะสม [10]

5. การประยุกต์ใช้ Design Thinking เป็นกระบวนการคิดเชิงออกแบบที่มุ่งเน้นการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ โดยให้ผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (user-centered approach) ผ่านการทำความเข้าใจความต้องการและประสบการณ์จริงของผู้ใช้ เพื่อนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมที่ตอบโจทย์ [11] [12] กระบวนการนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) Empathize ทำความเข้าใจผู้ใช้และปัญหาที่แท้จริง 2) Define สรุปและนิยามปัญหาที่ต้องแก้ไข 3) Ideate ระดมความคิดสร้างสรรค์ในการหาทางออก 4) Prototype สร้างต้นแบบเพื่อจำลองการใช้งานจริง 5) Test ทดสอบกับผู้ใช้เพื่อหาข้อปรับปรุง [13] งานวิจัยด้านการพัฒนาแอปพลิเคชันสุขภาพหลายชิ้นพบว่า Design Thinking ช่วยให้ทีมพัฒนาเข้าใจ “pain points” ของผู้ใช้ได้ชัดเจนขึ้น และสามารถออกแบบฟังก์ชันที่สอดคล้องกับความต้องการจริง เช่น ระบบแจ้งเตือน การจัดการข้อมูล และความสะดวกในการใช้งาน [1] การใช้ Design Thinking ยังสนับสนุนการทำงานแบบวนซ้ำ (iterative design) ที่เปิดโอกาสให้มีการปรับปรุงต้นแบบต่อเนื่องจากข้อเสนอแนะของผู้ใช้ การนำ Design Thinking มาปรับใช้จึงช่วยให้การออกแบบแอปพลิเคชันมีความใกล้เคียงกับความต้องการจริง เช่น การแสดงตารางว่างแบบเรียลไทม์ การจองที่ใช้ขั้นตอนน้อย การยกเลิก/เลื่อนนัดด้วยตนเอง และระบบแจ้งเตือนที่ช่วยลดการขาดนัด

3. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

1.1 ประชากร ได้แก่ ผู้ที่มาใช้บริการนัดแผนไทยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล จำนวนประมาณ 120 คน ผู้วิจัยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ตารางของ Krejcie and Morgan

1.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่

1) ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านแอปพลิเคชันที่มีประสบการณ์ไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 3 คน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

2) ผู้ที่มารับบริการนวดแผนไทย จำนวน 95 คน โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยคุณสมบัติ คือ เคยใช้บริการนวดแผนไทยใน รพ.สต. อย่างน้อย 1 ครั้ง มีอายุ 18 ปีขึ้นไป สามารถใช้สมาร์ตโฟนได้ และยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แบบสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เก็บข้อมูลจากกลุ่มผู้ที่มารับบริการนวดแผนไทยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล จำนวน 95 คน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาความต้องการ และประสบการณ์ในการใช้บริการ รวมถึงข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบการจูงใจแบบเดิมเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน Thai Care Touch ให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการได้อย่างแท้จริง

2.2 ต้นแบบแอปพลิเคชันจองนวดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล ได้รับการพัฒนาตามกระบวนการ Design Thinking และออกแบบด้วยแนวทาง UX/UI Design เพื่อให้ใช้งานง่าย เหมาะกับผู้ใช้ทุกกลุ่ม ทั้งนี้ ได้ให้ ผู้เชี่ยวชาญด้านแอปพลิเคชันที่มีประสบการณ์ไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 3 คน ซึ่งคัดเลือกโดยวิธีการแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เป็นผู้ตรวจสอบประสิทธิภาพของต้นแบบ เพื่อประเมินความถูกต้อง ความเหมาะสมของโครงสร้างระบบ ฟังก์ชันการใช้งาน ความสอดคล้องของการออกแบบ UX/UI และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง ผลการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญได้นำมาประกอบการปรับปรุงต้นแบบให้สมบูรณ์ก่อนการทดลองใช้จริงกับกลุ่มผู้ใช้บริการ

2.3 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการต่อแอปพลิเคชัน Thai Care Touch ถูกใช้ในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มผู้ที่มารับบริการนวดแผนไทยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล จำนวน 95 คน โดยมีจุดประสงค์เพื่อประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการหลังการทดลองใช้งานต้นแบบแอปพลิเคชัน Thai Care Touch เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณได้อย่างเป็นระบบและชัดเจน ครอบคลุม 2 ด้านหลัก ได้แก่ 1) ด้านฟังก์ชันการใช้งาน จำนวน 5 ข้อ 2) ด้านการออกแบบระบบ (UX/UI) จำนวน 5 ข้อ แบบประเมินความพึงพอใจใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) ตั้งแต่ “พึงพอใจน้อยที่สุด” ถึง “พึงพอใจมากที่สุด” พร้อมทั้งคำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้ตอบสามารถแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้เป็นกระบวนการพัฒนาแอปพลิเคชันจองนวดแผนไทยสำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล โดยใช้แนวทาง Design Thinking ซึ่งเป็นกระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Human-Centered Design) ที่มุ่งเน้นความเข้าใจผู้ใช้ (User) เป็นศูนย์กลาง เพื่อสร้างนวัตกรรมที่ตอบสนองต่อปัญหาและความต้องการจริง โดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทำความเข้าใจผู้ใช้ (Empathize) ผู้วิจัยได้ศึกษาพฤติกรรม ความต้องการ และปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้บริการนวดแผนไทยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล ผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มผู้ใช้บริการ จำนวน 95 คน เพื่อให้เข้าใจถึงประสบการณ์จริง (User Insight) และ pain points ที่ผู้ใช้ประสบ เช่น การจองคิวที่ล่าช้า การไม่ทราบคิวว่าง และการขาดระบบแจ้งเตือน

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดปัญหา (Define) จากข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และสังเคราะห์ปัญหาหลักของระบบจองคิวเดิม พร้อมกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการพัฒนาแอป

พลีเคชั่น โดยระบุปัญหาหลักคือ การขาดระบบบริหารจัดการคิวที่มีประสิทธิภาพและโปร่งใส ซึ่งนำไปสู่การกำหนดคุณสมบัติของระบบที่ต้องตอบโจทย์ทั้งผู้ใช้บริการและเจ้าหน้าที่

ขั้นตอนที่ 3 การระดมความคิดและออกแบบแนวทางแก้ปัญหา (Ideate) ผู้วิจัยได้ระดมแนวคิดเพื่อสร้างแนวทางแก้ปัญหาหลายรูปแบบ และนำมาวิเคราะห์ความเหมาะสม จนได้แนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชัน Thai Care Touch ที่สามารถจองคิวได้แบบเรียลไทม์ มีระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ และสามารถจัดการคิวได้ด้วยตนเอง รวมถึงออกแบบโครงสร้างการทำงานและการไหลของข้อมูล (User Flow)

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างต้นแบบ (Prototype) ผู้วิจัยได้พัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชัน (Prototype) โดยใช้เครื่องมือออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ เช่น Figma เพื่อจำลองหน้าจอการใช้งานและฟังก์ชันหลักของระบบ ได้แก่ การลงทะเบียน การเลือกบริการ การดูคิวว่าง การจอง การยืนยัน และการแจ้งเตือน ระบบดังกล่าวถูกออกแบบด้วยหลักการ UX/UI ที่มุ่งเน้นความเข้าใจง่าย ความชัดเจน และความเหมาะสมต่อผู้สูงอายุและผู้ทุพพลภาพ

ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบและปรับปรุงต้นแบบ (Test) ต้นแบบแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญด้านแอปพลิเคชัน จำนวน 3 คน ซึ่งมีประสบการณ์ไม่น้อยกว่า 5 ปี เพื่อประเมินความถูกต้อง ความเหมาะสม และความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง จากนั้นจึงนำต้นแบบที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้ใช้บริการจริง จำนวน 95 คน เพื่อประเมินความพึงพอใจในด้านฟังก์ชันการใช้งานและการออกแบบระบบ (UX/UI) ก่อนนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

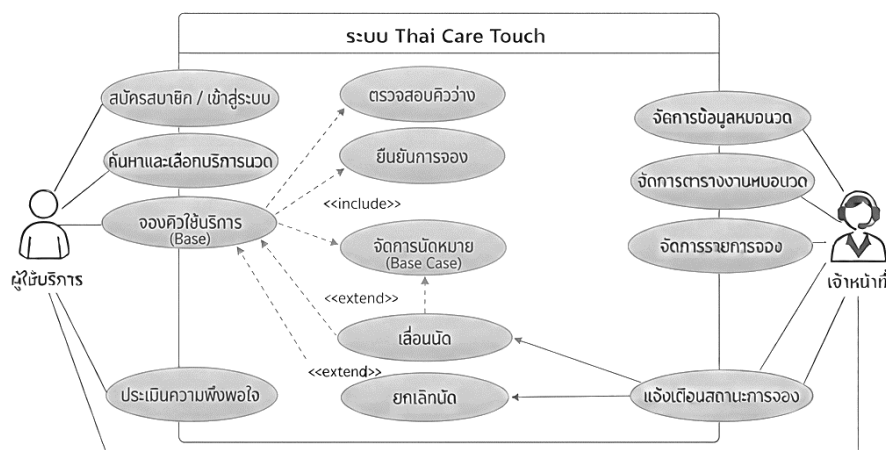
1. ผลการวิเคราะห์และออกแบบแอปพลิเคชันจองนัดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล

การออกแบบแอปพลิเคชัน Thai Care Touch ดำเนินการตามกระบวนการ Design Thinking ในสองขั้นตอนแรก ได้แก่ Empathize และ Define เพื่อทำความเข้าใจปัญหา ความต้องการ และพฤติกรรมของผู้ใช้บริการนัดแผนไทยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล โดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้บริการจำนวน 95 คน จากการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ พบว่า ผู้ใช้บริการประสบปัญหาและข้อจำกัดจากระบบการจองคิวแบบเดิม ดังนี้ 1) ต้องเดินทางมาจองคิวด้วยตนเอง ทำให้เสียเวลาและไม่สะดวก โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ 2) ไม่มีระบบแจ้งเตือนหรือยืนยันนัดหมาย ทำให้เกิดการขาดนัดหรือซ้ำซ้อนของคิว 3) การจัดการข้อมูลการจองยังเป็นแบบเอกสาร ทำให้เกิดความผิดพลาดและเพิ่มภาระงานของเจ้าหน้าที่ 4) ขาดช่องทางสื่อสารที่ชัดเจนระหว่างผู้ให้บริการและผู้รับบริการ

ผลจากการสัมภาษณ์ถูกนำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์เป็น Pain Points และ Design Requirements สำหรับใช้ในการออกแบบระบบ ได้แก่ ระบบต้องสามารถแสดงคิวว่างแบบเรียลไทม์ เพื่อให้ผู้ใช้เห็นเวลาที่สามารถจองได้ทันที ผู้ใช้ควรสามารถเลือกบริการ ประเภทการนัด และช่วงเวลาที่ต้องการได้ด้วยตนเอง ต้องมีระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าและยืนยันการจองผ่านแอปพลิเคชัน อินเทอร์เฟซควรเรียบง่าย ใช้งานสะดวก เหมาะกับทุกวัย และมีระบบประเมินความพึงพอใจหลังการรับบริการ เพื่อใช้พัฒนาคุณภาพบริการอย่างต่อเนื่อง

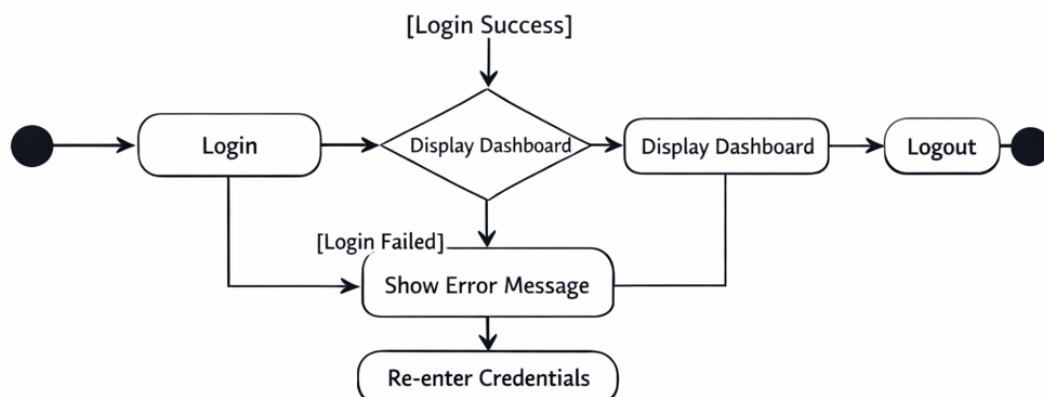
เพื่อให้การออกแบบระบบมีความชัดเจน เป็นระบบ และสามารถสื่อสารโครงสร้างการทำงานของแอปพลิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ Unified Modeling Language (UML) ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานในการวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศ โดยเลือกใช้แผนภาพที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้แก่ Use Case Diagram, Activity Diagram และ Sequence Diagram เพื่อแสดงมุมมองของระบบในแต่ละมิติ ทั้งด้านผู้ใช้งาน กระบวนการทำงาน และการโต้ตอบของระบบ

การใช้ UML ในการวิจัยครั้งนี้ช่วยให้สามารถอธิบายโครงสร้างระบบและพฤติกรรมการทำงานของแอปพลิเคชัน Thai Care Touch ได้อย่างเป็นรูปธรรม และช่วยสนับสนุนการพัฒนาให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งานอย่างแท้จริง



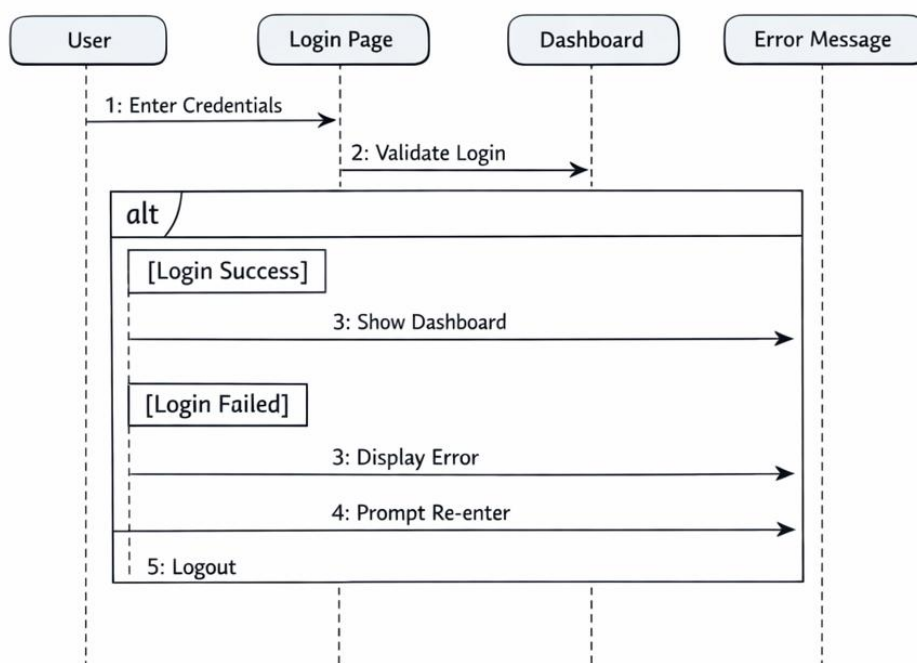
ภาพที่ 1 แผนภาพ Use Case Diagram ของระบบ Thai Care Touch

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ให้บริการและเจ้าหน้าที่กับฟังก์ชันหลักของระบบ ได้แก่ การสมัครสมาชิก การเข้าสู่ระบบ การจองคิว การตรวจสอบคิวว่าง การยืนยันการจอง การเลื่อนหรือยกเลิกนัดหมาย การแจ้งเตือน และการประเมินความพึงพอใจ ซึ่งสะท้อนขอบเขตการทำงานของระบบและบทบาทของผู้ใช้งานแต่ละประเภทอย่างชัดเจน



ภาพที่ 2 แผนภาพ Activity Diagram ของระบบ Thai Care Touch

แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบตั้งแต่การเข้าสู่ระบบ การตรวจสอบข้อมูลผู้ใช้ การเลือกบริการ การตรวจสอบคิวว่าง การจองคิว การยืนยันการจอง และการแจ้งเตือน โดยมีการแสดงเงื่อนไขการตัดสินใจ เช่น กรณีเข้าสู่ระบบสำเร็จหรือไม่สำเร็จ ซึ่งช่วยอธิบายกระบวนการทำงานของระบบอย่างเป็นขั้นตอนและชัดเจน



ภาพที่ 3 แผนภาพ Sequence Diagram ของระบบ Thai Care Touch

แสดงลำดับการโต้ตอบระหว่างผู้ใช้ ระบบแอปพลิเคชัน และฐานข้อมูล ในกระบวนการจองคิว โดยเริ่มจากการเข้าสู่ระบบ การตรวจสอบข้อมูล การตอบสนองของระบบในกรณีสำเร็จหรือไม่สำเร็จ และการแสดงผลลัพธ์ ซึ่งสะท้อนการทำงานของระบบในเชิงลำดับเวลาและช่วยให้เข้าใจกลไกการทำงานภายในระบบอย่างชัดเจน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยได้จัดทำ User Persona เพื่อสะท้อนลักษณะผู้ใช้บริการหลัก ต่อมาได้สร้าง Customer Journey Map เพื่อแสดงเส้นทางประสบการณ์ผู้ใช้ ตั้งแต่การค้นหาค้นหาบริการ การจองคิว การยืนยันการนัดหมาย จนถึงการประเมินผลหลังใช้บริการ พบว่าผู้ใช้ให้ความสำคัญกับขั้นตอนการตรวจสอบคิวว่าง และการแจ้งเตือนการนัดหมายมากที่สุด

จากนั้นได้กำหนด User Flow เพื่อวางโครงสร้างการใช้งานหลักของระบบ ซึ่งประกอบด้วย 1) หน้าเข้าสู่ระบบและสมัครสมาชิก 2) หน้าเลือกประเภทบริการและหมวดหมู่การนัด 3) หน้าเลือกหมวดนัดและเวลาว่างแบบเรียลไทม์ 4) หน้ายืนยันการจองและแสดงบัตรนัดดิจิทัล 5) หน้าแจ้งเตือนการนัดหมายและการจัดการคิว (เลื่อน/ยกเลิก) 6) หน้าแบบประเมินความพึงพอใจหลังใช้บริการ

ผู้วิจัยสร้าง Wireframe เพื่อจำลองโครงสร้างหน้าจอของแอปพลิเคชัน โดยเน้นความเรียบง่ายและชัดเจน โดยมีฟังก์ชันหลักดังต่อไปนี้

The image shows three mobile app screens for login and registration. The first screen is the login page with a 'Log in' button and social media links. The second screen is the login page with email and password fields, a 'Log in' button, and social media links. The third screen is the registration page with email, password, and confirm password fields, and a 'Register' button.

ภาพที่ 4 หน้าเข้าสู่ระบบรองรับหลายช่องทาง (เบอร์โทรศัพท์, LINE, Facebook, Google)

The image shows three mobile app screens for service selection. The first screen shows a list of services with a search bar. The second screen shows a list of services with a search bar. The third screen shows a list of services with a search bar.

ภาพที่ 5 หน้าเลือกบริการและหมวดหมู่การนัด พร้อมแสดงข้อมูลคำแนะนำเพื่อสุขภาพ

The image shows three mobile app screens for appointment selection. The first screen shows a list of services with a search bar. The second screen shows a calendar for selecting a date. The third screen shows a list of times for selecting a time.

ภาพที่ 6 หน้าเลือกหมวดหมู่และตารางเวลาที่ว่างแบบเรียลไทม์

ภาพที่ 7 หน้ายืนยันการจองและระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ

2. ต้นแบบแอปพลิเคชันจองนัดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล

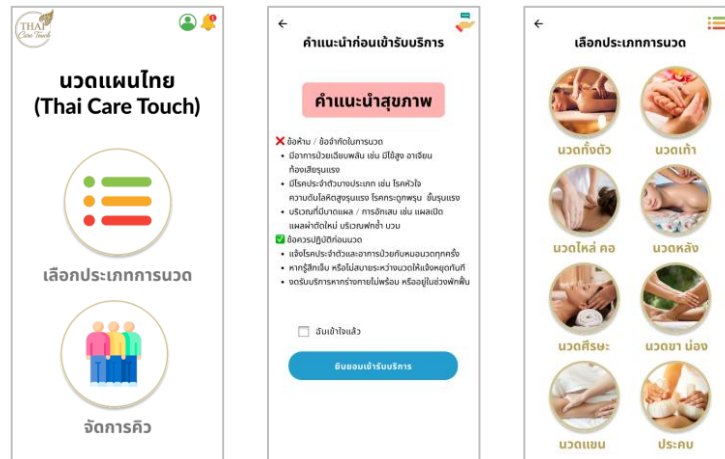
2.1 ผลการสร้างแอปพลิเคชันจองนัดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล

มีฟังก์ชันหลักดังนี้

1) ระบบเข้าสู่ระบบ/สมัครสมาชิก รองรับการเข้าสู่ระบบหลายช่องทาง เช่น เบอร์โทรศัพท์ อีเมล LINE และ Facebook ผู้ใช้สามารถสมัครสมาชิกใหม่ กู้คืนรหัสผ่าน และยืนยันตัวตนได้

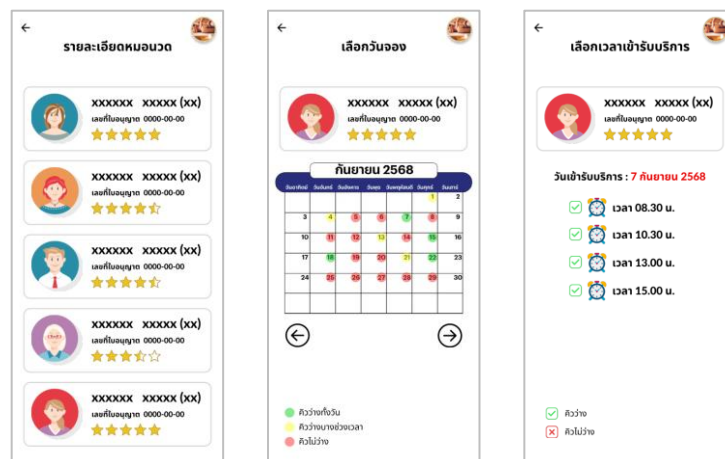
ภาพที่ 8 หน้าระบบเข้าสู่ระบบ/สมัครสมาชิก

2) การเลือกบริการและหมวดหมู่การนัด ผู้ใช้สามารถเลือกประเภทการนัด เช่น นัดตัว นัดเท้า นัดไหล่-คอ-หลัง นัดศีรษะ นัดแขน หรือนัดประคบ ระบบแสดงรายละเอียดและคำแนะนำด้านสุขภาพก่อนเข้ารับบริการ เพื่อความปลอดภัย



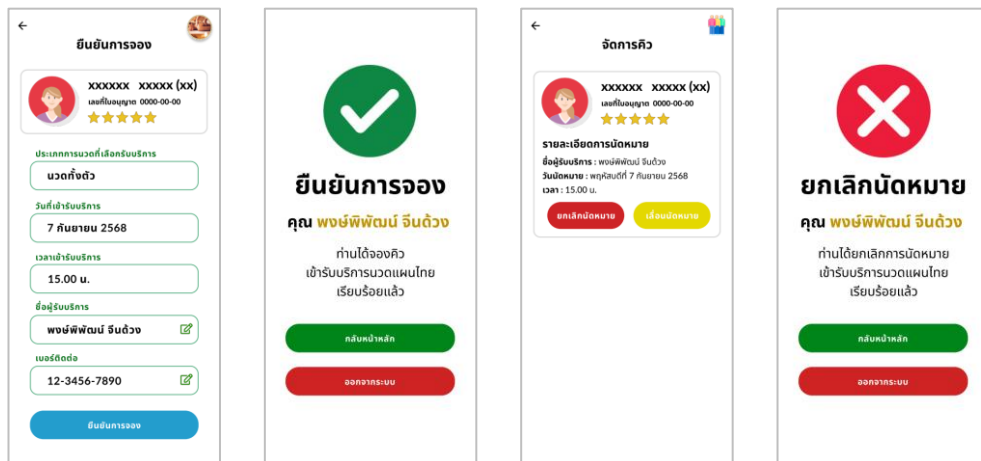
ภาพที่ 9 หน้าเลือกบริการและหมวดหมู่การนัด

3) ระบบเลือกหมอนวดและเวลาวางแบบเรียลไทม์ แสดงรายชื่อหมอนวดพร้อมใบอนุญาตประกอบโรคศิลปะ ผู้ใช้สามารถเลือกวันและเวลาได้ โดยระบบจะแสดงสถานะคิวว่าง คิวบางช่วงว่าง และคิวไม่ว่างอย่างชัดเจน



ภาพที่ 10 หน้าเลือกหมอนวดและเวลาวางแบบเรียลไทม์

4) การยืนยันการจองและการจัดการคิว เมื่อยืนยันการจอง ระบบจะแสดงรายละเอียดนัดหมาย ได้แก่ วัน เวลา ประเภทการนัด และข้อมูลผู้ใช้ ผู้ใช้สามารถดูคิวที่จองไว้ ยกเลิกนัดหมาย หรือเลื่อนนัดหมายได้ด้วยตนเอง



ภาพที่ 11 หน้ายืนยันการจองและการจัดการคิว

5) ระบบแจ้งเตือนการนัดหมาย ระบบส่งการแจ้งเตือนพร้อมรายละเอียดวัน เวลา และสถานที่เข้ารับบริการ รวมถึงแผนที่การเดินทาง



ภาพที่ 12 หน้าระบบแจ้งเตือนการนัดหมาย

6) แบบประเมินความพึงพอใจ หลังการเข้ารับบริการ ผู้ใช้สามารถให้คะแนนและแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพการนัด ความสะอาด ความปลอดภัย และความพึงพอใจโดยรวม



ภาพที่ 13 หน้าแบบประเมินความพึงพอใจ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันจองนัดหมายไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการดำเนินการกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 95 คน ที่ได้ทดลองใช้งานต้นแบบแอปพลิเคชัน Thai Care Touch

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันจองนัดหมายไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล ด้านฟังก์ชันการใช้งาน

ประเด็นการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ด้านฟังก์ชันการใช้งาน			
1.1 แอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์การจองบริการนัดหมายไทย	4.87	0.35	มากที่สุด
1.2 ขั้นตอนการจองคิวมีความสะดวก รวดเร็ว และไม่ซับซ้อน	4.83	0.38	มากที่สุด
1.3 ระบบแจ้งเตือนและยืนยันการจองมีความชัดเจนและทันเวลา	4.90	0.40	มากที่สุด
1.4 ฟังก์ชันการค้นหาและเลือกบริการตรงกับความต้องการของผู้ใช้	4.77	0.57	มากที่สุด
1.5 การทำงานของระบบโดยรวมมีความเสถียร ไม่เกิดข้อผิดพลาดบ่อย	4.47	0.51	มาก
รวม	4.77	0.44	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 พบว่า ด้านฟังก์ชันการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยรวม 4.77 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.44 อยู่ในระดับ “มากที่สุด” ประเด็นที่ได้รับคะแนนสูงสุด ได้แก่ ระบบแจ้งเตือนและการยืนยันการจองที่มีความชัดเจนและทันเวลา (ค่าเฉลี่ย 4.90) รองลงมาคือความตรงตามวัตถุประสงค์ของระบบจองบริการนัดหมายไทย (ค่าเฉลี่ย 4.87) และความสะดวก รวดเร็ว ไม่ซับซ้อนของขั้นตอนการจองคิว (ค่าเฉลี่ย 4.83) แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้บริการให้ความสำคัญกับความง่ายและความมั่นใจในการทำธุรกรรมการจองมากที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันจองนัดหมายไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล ด้านการออกแบบระบบ

ประเด็นการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
2. ด้านการออกแบบระบบ			
2.1 การจัดวางเมนูและโครงสร้างหน้าจามีความเป็นระเบียบ เข้าใจง่าย	4.63	0.49	มากที่สุด
2.2 การใช้สี ตัวอักษร และไอคอนมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการใช้งาน	4.73	0.64	มากที่สุด
2.3 การออกแบบอินเทอร์เฟซช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงฟังก์ชันได้อย่างสะดวก	4.43	0.50	มาก
2.4 รูปแบบการแสดงผลข้อมูลมีความชัดเจนและน่าเชื่อถือ	4.77	0.57	มากที่สุด
2.5 ภาพรวมการออกแบบระบบมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล	4.83	0.38	มากที่สุด

ประเด็นการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
รวม	4.68	0.52	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่า ด้านการออกแบบระบบ มีค่าเฉลี่ยรวม 4.68 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52 อยู่ในระดับ “มากที่สุด” เช่นกัน โดยหัวข้อที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือ ความเหมาะสมของการออกแบบระบบต่อการใช้งานในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล (ค่าเฉลี่ย 4.83) รองลงมาคือความชัดเจนและความน่าเชื่อถือของการแสดงผลข้อมูล (ค่าเฉลี่ย 4.77) และความเหมาะสมของการใช้สี ตัวอักษร และไอคอน (ค่าเฉลี่ย 4.73) ซึ่งสะท้อนว่าองค์ประกอบด้านภาพลักษณ์และการนำเสนอข้อมูลของระบบมีความสอดคล้องและสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ให้บริการ

โดยสรุป ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการพบว่า ทั้งด้านฟังก์ชันการใช้งานและด้านการออกแบบระบบของแอปพลิเคชัน Thai Care Touch อยู่ในระดับ “มากที่สุด” แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านความสะดวก รวดเร็ว ความโปร่งใส และการออกแบบที่เป็นมิตรต่อผู้ใช้งานทุกกลุ่ม นอกจากนี้ การที่ระบบได้รับการยอมรับว่าเหมาะสมต่อการใช้งานจริงในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล ยังตอกย้ำถึงศักยภาพของแอปพลิเคชันในการนำไปใช้จริงเพื่อยกระดับคุณภาพการให้บริการสุขภาพในระดับชุมชน

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

จากการวิจัยชี้ให้เห็นว่า แอปพลิเคชัน Thai Care Touch สามารถตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้บริการได้จริง โดยเฉพาะด้าน ความสะดวก ความโปร่งใส และการลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ วัลลภ เรือนทองเงิน และชาญวิวัฒน์พงศ์ สมุทรเวทย์ (2565) ที่ระบุว่า ระบบการจองคิวออนไลน์ช่วยลดภาระงานเอกสาร ลดความผิดพลาดจากการจดมือ ลดการนัดซ้ำซ้อน เพิ่มความโปร่งใส และช่วยให้ผู้รับบริการสามารถจัดการนัดหมายได้ด้วยตนเอง ผลการศึกษานี้จึงตอกย้ำความสำคัญของการพัฒนาระบบดิจิทัลที่มีความเรียลไทม์และโปร่งใส

นอกจากนี้ ผลการประเมินความพึงพอใจในด้าน ระบบแจ้งเตือนและยืนยันการจอง ที่ได้รับคะแนนสูงสุด (เฉลี่ย 4.90) ยังสอดคล้องกับงานของ วิทยา พลอาวด (2567) ที่พัฒนาระบบจองคิวผ่านแอปพลิเคชัน หมอพร้อม ใน รพ.สต. และพบว่าการมีระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าช่วยลดการขาดนัดและเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการเวลาในการให้บริการได้อย่างชัดเจน สิ่งนี้สะท้อนว่าผู้ให้บริการให้ความสำคัญกับความมั่นใจในการรับบริการ และมองว่าการแจ้งเตือนเป็นฟังก์ชันที่ขาดไม่ได้ในระบบสาธารณสุขยุคดิจิทัล

ในด้านการออกแบบ UX/UI ผู้ใช้บริการประเมินว่าอยู่ในระดับ “มากที่สุด” โดยเฉพาะความเหมาะสมต่อการใช้งานจริงในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล (เฉลี่ย 4.83) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Garrett (2010) ที่ชี้ว่า UX คือประสบการณ์โดยรวมของผู้ใช้ ขณะที่ UI คือความง่ายและความถูกต้องในการโต้ตอบกับระบบ หากทั้งสององค์ประกอบนี้ได้รับการออกแบบอย่างสมดุล จะนำไปสู่ความพึงพอใจสูงสุดของผู้ใช้ ผลวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า Thai Care Touch ถูกออกแบบโดยคำนึงถึงผู้ใช้งานจริง โดยเฉพาะผู้สูงอายุและวัยทำงานที่ต้องการความเข้าใจง่ายและความรวดเร็ว

อีกทั้ง การพัฒนาต้นแบบด้วยกระบวนการ Design Thinking ที่มุ่งเน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลางยังมีความสอดคล้องกับงานของ Brown (2009) และ Liedtka (2018) ที่เน้นว่าการทำความเข้าใจปัญหาและความต้องการที่แท้จริงของผู้ใช้ (Empathize และ Define) จะช่วยให้ทีมพัฒนาสามารถออกแบบฟังก์ชันที่สอดคล้องกับ pain points ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้ pain points เช่น ไม่เห็นคิวว่างแบบเรียลไทม์ ขั้นตอนการจองยุ่งยาก และการลืมนัด ถูกแก้ไขด้วยฟังก์ชันการแสดงตารางคิวแบบเรียลไทม์ ระบบแจ้งเตือน และการจัดการคิวด้วยตนเอง

กล่าวโดยสรุป การวิจัยนี้มีข้อค้นพบที่สอดคล้องกับงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่ชี้ให้เห็นว่าแอปพลิเคชันสุขภาพบนสมาร์ตโฟน (mHealth) มีศักยภาพในการยกระดับบริการสุขภาพชุมชน โดยเพิ่มการเข้าถึงลดข้อผิดพลาด และสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้บริการ [1] [3] ดังนั้น Thai Care Touch จึงเป็นตัวอย่างของการนำนวัตกรรมดิจิทัลมาใช้แก้ปัญหาที่สอดคล้องกับบริบทจริงของ รพ.สต. และสามารถต่อยอดเพื่อใช้จริงในระบบบริการสุขภาพปฐมภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะการวิจัย

1. ควรนำแอปพลิเคชัน Thai Care Touch ไปใช้จริงในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคิวและความสะดวกแก่ผู้รับบริการ
2. ควรอบรมเจ้าหน้าที่ให้เข้าใจและใช้งานระบบได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้บริการมีความต่อเนื่องและเป็นมาตรฐาน
3. ควรพัฒนาระบบให้เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลสุขภาพอื่น เพื่อให้บริการมีความครบวงจร
4. ควรเพิ่มฟังก์ชันใหม่ที่ตอบโจทย์กลุ่มผู้ใช้เฉพาะ เช่น ผู้สูงอายุ หรือผู้มีข้อจำกัดด้านเวลา
5. ควรขยายการวิจัยในพื้นที่และกลุ่มผู้ใช้ที่หลากหลาย เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความเหมาะสมของระบบในบริบทต่าง ๆ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nguyen, M., Fu, S., & Wang, Z. (2022). Mobile phone usage and its impacts on daily life: A global perspective. *Journal of Information Technology and Society*, 37 (2), 45-59.
- [2] สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (สพธอ.). (2568). *การสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย Thailand Internet User Behavior*. สืบค้น 4 กันยายน 2568, จาก <https://opendata.etda.or.th>.
- [3] อินทรีรา สุขรุ่งเรือง และดาราวรรณ ร่องเมือง. (2564). การพัฒนาแนวทางการส่งเสริมพฤติกรรมดูแลสุขภาพผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือต่ออาสาสมัครจากคลังใต้ทางช่องท้องและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยคลังใต้ทางช่องท้องในสถานการณ์วิกฤตโควิด 19. *วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี*, 32(1), 171-188.
- [4] กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. (2025). *ข้อมูลบริการและภารกิจกรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*. สืบค้น 4 กันยายน 2568, จาก dtam.moph.go.th

- [5] วิทยา พลาอาด. (2567). การพัฒนาระบบการจองคิวตรวจล่วงหน้าของผู้รับบริการผ่านแอปพลิเคชันหมอพร้อม ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเจ๊ะบิลัง อำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูล. *วารสารสภาการสาธารณสุขชุมชน*, 6(3), 21-37.
- [6] กฤษดา แสงดี และคณะ. (2562). การศึกษาภาระงาน ความพอเพียงของอัตรากำลังและการบริหารกำลังคน ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล. *วารสารวิจัยสุขภาพและการพยาบาล*, 35(2), 174-183.
- [7] วัลลภ เรือนทองเงิน และชาญวัฒน์พงศ์ สมุทรเวทย์. (2565). การพัฒนารูปแบบระบบการส่งต่อใบนัดออนไลน์ แผนกผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลอมก๋อย. *วารสารวิจัยการพยาบาลและการสาธารณสุข*, 2(1), 60-72.
- [8] Garrett, J. J. (2010). *The elements of user experience* (2nd ed.). New Riders.
- [9] Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Rev. & expanded ed.). Basic Books.
- [10] Krug, S. (2014). *Don't make me think, revisited* (3rd ed.). New Riders.
- [11] Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking creates new alternatives for business and society*. Harvard Business Press.
- [12] Liedtka, J. (2018). Why design thinking works. *Harvard Business Review*, 96(5), 72-79.
- [13] Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2015). *Interaction design: Beyond human-computer interaction* (4th ed.). Wiley.

EFFECTS OF EXTRACTION CONDITIONS ON THE PHYTOCHEMICAL PROFILES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *EUPHORBIA HIRTA* L. EXTRACT

Patimoh Masae¹, Romalee Chedoloh², Imron Meechai^{*1}

^{*1} Program in Applied Chemistry, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University

² Program in Food Innovation and Business, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University

* E-mail Corresponding Author: imron.me@yru.ac.th

วันที่รับบทความ 28 ตุลาคม 2568 วันแก้ไขบทความ 17 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2569

ABSTRACT

Euphorbia hirta L. (Lion's milk in Thai) is a medicinal plant recognized for its diverse therapeutic properties, particularly due to the presence of flavonoids and tannins which exhibit potent antioxidant and anti-inflammatory effects. This study aimed to investigate the impact of different preparation and extraction methods on the total flavonoid and tannin contents, as well as the antioxidant activity of the aqueous extracts. First, the plant samples were prepared by sun-drying. For extraction was conducted using a solid-to-liquid ratio of 1:10 (w/v). Two extraction methodologies were compared: boiling and microwave-assisted extraction (MAE) at various durations. The findings indicated that microwave extraction for 3 minutes yielded the highest concentrations of total flavonoids as 34.20 ± 0.12 μg QE/100 mL and total tannins as 274.63 ± 5.65 μg TAE/100 mL. Furthermore, this condition demonstrated superior antioxidant activity in both DPPH scavenging activity as 20.88 ± 0.16 μg Vitamin C/100 mL and percentage of nitric oxide (NO) radical scavenging activity as $87.76\% \pm 2.61$ when compared to other treatments. In conclusion, microwave-assisted extraction is a highly efficient and "green" method for maximizing the recovery of bioactive compounds and enhancing the biological activity of *E. hirta* L.

Keywords: *Euphorbia hirta* L.; Antioxidant activity; Microwave extraction; Phytochemical contents

1. INTRODUCTION

Currently, herbal drinks have emerged as a prominent alternative both domestically and internationally. It is an extract derived from various plant components, including flowers, leaves, roots, fruits, seeds, vegetables, and grains [1, 2, 3]. Fresh or dried herbs are processed by chopping or grinding into powder, followed by brewing or boiling with water and subsequently squeezing to separate the pulp, resulting in a beverage for health purposes [4, 5]. Numerous extraction methods exist to obtain medicinally beneficial active ingredients from herbal plants, including ultrasonic-assisted extraction, enzyme-assisted extraction, pulsed electric field extraction, and microwave-assisted extraction, which are modern techniques often associated with high costs [6, 7]. Notably, microwave extraction can be conducted using a household microwave oven, thereby reducing the need for expensive equipment.

Previous research conducted by Meechai and Baka [8] examined the impact of extraction methods on the concentration of phytochemicals in roselle, revealing that microwave extraction at 100 watts for 30 minutes yielded higher total phenolic and flavonoid contents than alternative methods. Bilhman et al. [9] employed microwave-assisted extraction (MAE) using a glycerol-ethanol mixture to obtain extracts from the unripe banana fruit, which extract demonstrated significant radical scavenging activity in both DPPH and ABTS assays, indicating strong antioxidant properties. Phaisan et al. [10] reported that MAE was used to extract *Centella asiatica* (L.) to provide a high bioactive compound yield and high antioxidant activity. Moreover, preparing herbal samples prior to extraction also influenced phytochemical yields [11].

Lion's milk, scientifically designated as *Euphorbia hirta* L., belongs to the Euphorbiaceae family and serves as a medicinal plant with a variety of therapeutic properties. It has been employed to treat poisoning, facilitate milk expulsion, address rashes, and manage conditions such as acute enteritis, bacterial dysentery, and hematuria [12]. Previous studies have identified significant phytochemical groups, including flavonoids, tannins, terpenoids, and steroids. Additionally, various biological activities have been documented, such as antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, antidiabetic, and antitumor properties [13].

Recent studies have increasingly focused on *Euphorbia hirta* L. as a rich source of phenolic compounds with notable antioxidant properties. Several studies have demonstrated that both aqueous and organic solvent extractions of *Euphorbia hirta* yield significant phytochemicals and exhibit strong antioxidant activities, particularly due to the presence of phenolic and flavonoid compounds [14, 15]. In particular, aqueous extracts have been reported to possess considerable radical scavenging activity, confirming that water can serve as an effective and practical extraction solvent [16]. Furthermore, microwave-assisted extraction of *E. hirta* has been widely investigated, with extraction parameters such as time and solvent ratio significantly influencing phenolic yield

[17]. Optimization studies have demonstrated that extraction time is a critical factor affecting both yield and antioxidant activity [18]. In addition, studies on the Euphorbiaceae family have emphasized the importance of optimizing extraction conditions to maximize phenolic recovery while minimizing degradation [19, 20].

The objective of this research is to investigate the effects of lion's milk extract preparation by assessing the impacts of extraction methods (boiling and microwave) for varying durations on the concentrations of total flavonoids and tannins, which are crucial substances contributing to antioxidant properties [21]. The findings of this research will inform future efforts in developing health products.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Sample collection and preparation

In this study, the arial part of the *Euphorbia hirta* L. was collected in November 2023 at the Lalo sub-district, Rusoh district, Narathiwat province, Thailand. The sample was clean and dried in the sun-drying for 5-7 days. Grind the sample finely, then store it in a bag and place it in the desiccator [22].

2.2 Sample extraction

The extraction methods are divided into two methods: boiling and microwaving. Weigh the sample and add distilled water in a ratio of 1:10 (sample weight in g/solvent volume in mL). In the boiling method, the sample is boiled for 10, 20, 30, 40, and 50 mins. Microwave method, the energy is used at 200 watts for 1, 2, 3, 4, and 5 mins-(shown in Table 1). After that, let it cool to room temperature, then centrifuge at 5,000 rpm for 10 mins. Finally, separate the supernatant and store it in plastic bottles before analysis [23].

Table 1 Symbols and condition of extraction methods

Symbol	Methods	Times (mins)
BE-T10	Boiling method	10
BE-T20	Boiling method	20
BE-T30	Boiling method	30
BE-T40	Boiling method	40
BE-T50	Boiling method	50
ME-T1	Microwave method	1
ME-T2	Microwave method	2
ME-T3	Microwave method	3
ME-T4	Microwave method	4
ME-T5	Microwave method	5

2.3 Determination of phytochemical contents

The total flavonoid content was determined using the aluminum chloride colorimetric method, following the protocol described by [24, 25], with quercetin used as a standard. The extract was diluted tenfold with distilled water. Then, 100 μL of the diluted extract was transferred into a 96-well microplate, followed by the addition of 100 μL of 2% AlCl_3 solution. The mixture was incubated at room temperature for 15 minutes, after which the absorbance was measured at a wavelength of 435 nm using a microplate reader. The total flavonoid content was calculated from the standard curve of quercetin and expressed as micrograms of quercetin equivalent (QE) per 100 milliliters of extract ($\mu\text{g QE}/100 \text{ mL extract}$).

The total tannin content was determined using a modified version of the method proposed by [26]. The extract was diluted tenfold with distilled water. A volume of 8.2 μL of the diluted extract was mixed with 10.2 μL of distilled water, 8.2 μL of Folin-Ciocalteu reagent, and 81.6 μL of 7% (w/v) Na_2CO_3 solution. The mixture was shaken and kept in the dark for 90 minutes. Absorbance was then measured at 700 nm. The total tannin content was calculated using a standard curve of tannic acid and expressed as micrograms of tannic acid equivalent (TE) per 100 milliliters of extract ($\mu\text{g TE}/100 \text{ mL extract}$).

2.4 Determination of antioxidant activities

The DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) assay was used to evaluate the antioxidant activity of the extract, following the method described by [24, 27]. Vitamin C was used as the standard. The extract was diluted tenfold with distilled water. A volume of 100 μL of the diluted extract was transferred into a 96-well microplate, followed by the addition of 100 μL of 0.3 mM DPPH solution in ethanol. The mixture was incubated in the dark at room temperature for 15 minutes. Absorbance was then measured at a wavelength of 517 nm using a microplate reader. The antioxidant capacity of the extract was expressed as micrograms of vitamin C equivalent ($\mu\text{g Vitamin C}/100 \text{ mL extract}$).

The nitric oxide scavenging activity was evaluated using the sodium nitroprusside method, as described by [24], with vitamin C used as the standard. The extract was diluted tenfold with distilled water. Then, 100 μL of the diluted extract was added to a 96-well plate, followed by 50 μL of 10 mM sodium nitroprusside in phosphate buffer (pH 7.4). The mixture was incubated in the dark at 25 $^{\circ}\text{C}$ for 90 minutes. After incubation, 100 μL of Griess reagent was added and further incubated for 30 minutes. Absorbance was measured at a wavelength of 577 nm. The results were reported as the percentage of nitric oxide scavenging activity (1).

$$\% \text{ Nitric oxide Scavenging} = \frac{(\text{Abscontrol} - \text{Abssample})}{\text{Abscontrol}} \times 100 \quad (1)$$

2.5 Statistical analysis

The results were averaged ($n=3$) and the standard deviation (SD) was calculated. The data were then analyzed statistically using One-Way ANOVA and Pearson correlation coefficient at a 95 % confidence level ($p<0.05$).

3. RESULTS

The phytochemical contents and antioxidant activities of the microwave extraction method were displayed higher than those of the boiling method. Additionally, extraction takes less time. Microwave extraction for 3 minutes resulted in TFC and TTC that were higher than other durations, with values of 34.20 ± 0.12 μg QE/100 mL extract and 274.63 ± 5.65 μg TAE/100 mL extract, respectively. As for the DPPH scavenging and % nitric oxide scavenging activities, it was found that microwave extraction for 3 minutes yielded the highest values, which were 20.88 ± 0.16 μg Vitamin CE/100 mL extract and 87.76 ± 2.61 %, respectively. A 30-minute extraction interval produced higher phytochemical contents and antioxidant activity than other time periods for the boiling procedure (Table 2 and Figure 1). According to recent studies, the ethanol extract of lion's milk with reflux extraction showed more than 60 % antioxidant activity at a concentration of 0.5 mg/mL [28], DPPH scavenging activity was lower than previously reported, despite the study's findings. It makes use of easier extraction techniques and eco-friendly solvents.

Table 2 Influence of preparation *Euphorbia hirta* L. aqueous extract on the phytochemical contents and antioxidant

Sample	TFC (μg QE/100 mL extract)	TTC (μg TAE/100 mL extract)	DPPH scavenging activity (μg Vitamin CE/100 mL extract)	% NO scavenging activity
BE-T10	27.58 ± 0.27^d	205.98 ± 4.21^e	17.96 ± 0.04^{de}	55.96 ± 4.25^{de}
BE-T20	28.83 ± 0.02^c	211.02 ± 1.90^{de}	18.96 ± 0.24^{cd}	62.36 ± 1.85^{cd}
BE-T30	29.76 ± 0.09^b	211.53 ± 4.16^{de}	19.35 ± 0.14^{bc}	66.38 ± 2.06^c
BE-T40	24.53 ± 0.60^f	187.90 ± 5.64^f	16.55 ± 0.07^f	51.22 ± 4.73^{ef}
BE-T50	21.02 ± 0.85^g	155.14 ± 4.47^g	14.65 ± 0.57^g	46.84 ± 3.18^{fg}
ME-T1	17.89 ± 0.20^h	184.37 ± 6.15^f	17.79 ± 0.34^e	60.53 ± 4.26^{cd}
ME-T2	25.17 ± 0.17^{ef}	241.62 ± 16.12^{bc}	18.53 ± 0.24^{cd}	75.69 ± 0.81^b
ME-T3	34.20 ± 0.12^a	274.63 ± 5.65^a	20.88 ± 0.16^a	87.76 ± 2.61^a
ME-T4	26.46 ± 1.12^{de}	249.35 ± 8.06^b	20.59 ± 0.25^a	43.64 ± 3.47^g
ME-T5	24.09 ± 0.24^f	223.95 ± 2.21^{cd}	20.02 ± 0.21^{ab}	41.81 ± 2.05^g

Note: Values are mean $\pm$ SD and mean values followed by the same letters are not significantly different at ($p<0.05$)

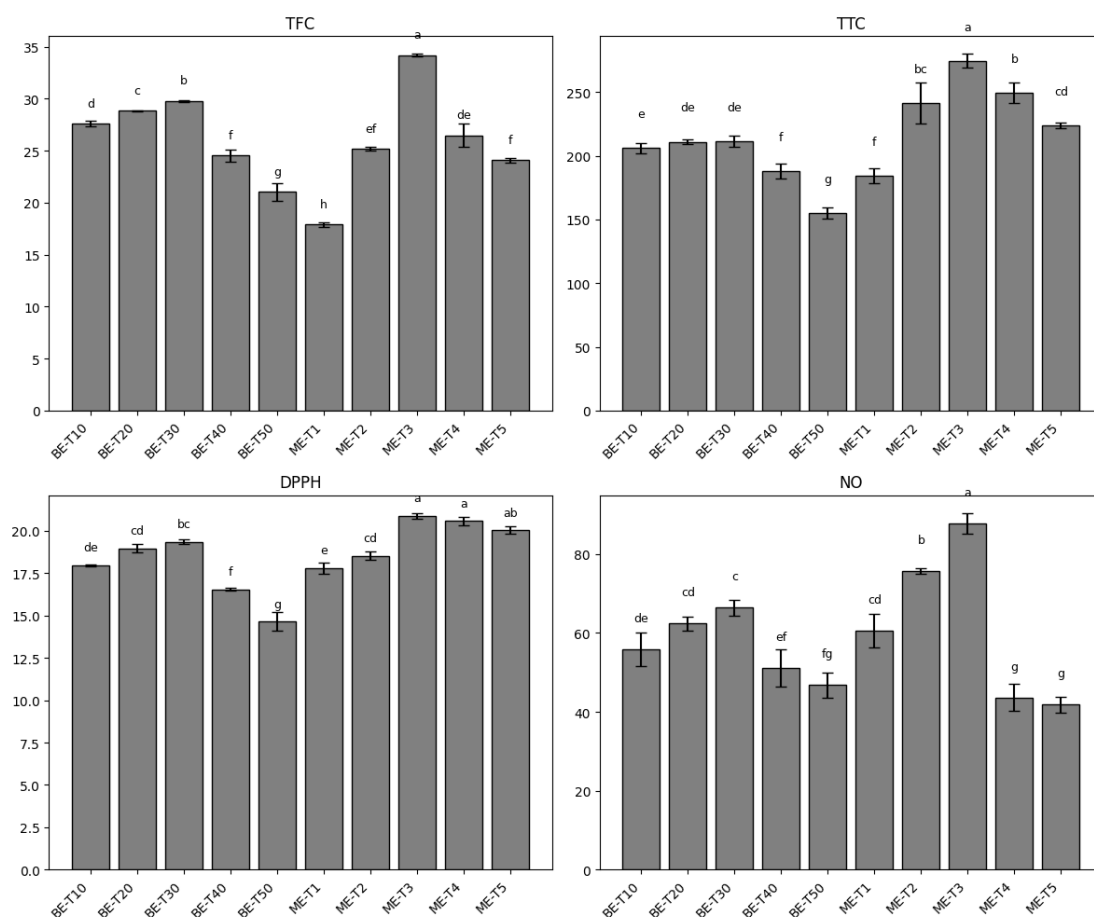


Figure 1 Effects of boiling extraction (BE) and microwave-assisted extraction (ME) on total flavonoid content (TFC), total tannin content (TTC), DPPH radical scavenging activity, and nitric oxide (NO) scavenging activity. Values are expressed as mean $\pm$ standard deviation. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$)

4. DISCUSSION AND SUGGESTION

In the study of extraction methods, both boiling and microwave, presented that the number of active chemicals and bioactivities decreased with increasing extraction time, which may be related to the stability of certain important substances that cannot withstand prolonged heat [8]. Additionally, the microwave extraction method displayed a higher yield of phytochemical contents than boiling method, because electromagnetic waves enable modifications in mass transport, leading to increased efficiency compared to conventional heating techniques [29]. The results indicated that microwave-assisted extraction reached its optimum at 3 min, which is consistent with previous studies reporting that maximum phenolic recovery is typically achieved within a short irradiation time due to rapid cell wall disruption and enhanced mass transfer [30]. Prolonged extraction time (4–5 min) resulted in a significant decrease in antioxidant activity,

particularly NO scavenging activity. This reduction can be attributed to thermal and oxidative degradation of phenolic compounds. Previous studies have demonstrated that excessive microwave exposure leads to the formation of reactive oxygen species such as hydroxyl radicals and hydrogen peroxide, which degrade phenolic structures and reduce antioxidant capacity [31].

Table 3 Correlation between phytochemical contents and antioxidant activities

Boiling method	DPPH scavenging activity	Nitric oxide scavenging activity
TFC	0.998	0.814
TTC	0.975	0.885
Microwave method	DPPH scavenging activity	Nitric oxide scavenging activity
TFC	0.868	0.951
TTC	0.804	0.863

Note: Pearson correlation coefficients (r) were used to evaluate the relationships between total flavonoid content (TFC), total tannin content (TTC), and antioxidant activities, including DPPH radical scavenging activity and nitric oxide (NO) scavenging activity. All correlations were statistically significant at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

The correlation of phytochemical contents and antioxidant activities is shown in Table 3. The correlation showed a strong positive relationship for all data. These data indicated that the yield of phytochemicals might be affected by the potential on the DPPH scavenging and Nitric oxide scavenging activities. The previous study reported that the strong correlation of total flavonoid content and total tannin content with antioxidant capacity is due to flavonoid compounds and tannins contributing to the antioxidant of extracts [32]. Furthermore, this might suggest that the extract's flavonoid and tannin structures have a favorable activity profile for DPPH and Nitric oxide scavenging [24, 32].

This study's results highlight the extraction methods utilizing water as a solvent. The results suggest that the microwave extraction method, which is a rapid technique, has high flavonoid and tannin contents and antioxidant activities. Compared to conventional heating methods, the microwave extraction technique is more efficient. With a total tannin content (TTC) of 274.63 ± 5.65 $\mu\text{g TAE}/100$ mL and a total phenolic content (TFC) of 34.20 ± 0.12 $\mu\text{g QE}/100$ mL, the microwave extraction method proved to be more effective than boiling. Three minutes was the ideal microwave extraction duration for antioxidant activity and phytochemical content. This involved eliminating nitric oxide ($87.76 \pm 2.61\%$) and DPPH free radicals (20.88 ± 0.16 $\mu\text{g Vitamin CE}/100$ mL). However, the efficiency decreases as the extraction time increases. This might be

related to the stability of important materials that cannot withstand high temperatures. Furthermore, the phytochemical concentration and antioxidant activity were positively correlated. Potentialities are associated with the structure of flavonoids and tannins. Thus, the microwave method of extracting lion's milk with water as a solvent is an intriguing way to make herbal drinks and conduct additional research in other areas. This method offers high concentrations of significant chemicals, is environmentally benign, and shortens the extraction time.

5. ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank Chemistry Program, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University for facilities.

6. REFERENCES

- [1] Giri, N. A., Sakhale, B. K., & Nirmal, N. P. (2023). Functional beverages: An emerging trend in beverage world. In S. Pati, T. Sarkar, & D. Lahiri (Eds.), Recent frontiers of phytochemicals (pp. 123–142). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19143-5.00002-5>
- [2] Veerayutvilai, P. (2007). Product factors related to consumers' behavior of drinking functional herb beverage in Bangkok Metropolitan Area (Master's thesis, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand). http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Man/Prasitporn_V.pdf
- [3] Yadeng, S. (2011). Consumer's behavior on herbal beverage in Hatyai city municipality, in Hatyai district, Songkhla province (Master's thesis, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand). <http://kb.psu.ac.th:8080/psukb/bitstream/2010/7923/1/355197.pdf>
- [4] Shaik, M., Hamdi, I., & Sarbon, N. (2023). A comprehensive review on traditional herbal drinks: Physicochemical, phytochemicals and pharmacology properties. Food Chemistry Advances, 3, 100460. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100460>
- [5] Tiya, N., Yusoh, S., Ha, M., & Maeng, D. (2022, March 10–11). The consumption behavior of the herbal drink with lemon among the students Yala Rajabhat University. In Proceedings of the 7th National Science and Technology Conference (NSCIC 2022) (pp. 618–632). Suratthani Rajabhat University. <https://wb.yru.ac.th/handle/yrui/6780>
- [6] Shen, L., Pang, S., Zhong, M., Sun, Y., Qayum, A., Liu, Y., et al. (2023). A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies. Ultrasonics Sonochemistry, 101, 106646. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106646>
- [7] Zhang, Q. W., Lin, L. G., & Ye, W. C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. Chinese Medicine, 13, Article 2. <https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x>

-
- [8] Meechai, I., & Baka, A. (2024). Optimum conditions and comparison of extraction methods of red roselle water on the contents of anthocyanin, total phenolic, total flavonoid, and anti-radical scavenging activity. *Progress in Applied Science and Technology*, 13(2), 38–44. <https://doi.org/10.14456/past.2023.7>
- [9] Bilham, S., Ramanathan, S., Dumjun, K., Wunnoo, S., Lethongkam, S., Waen-Ngoen, T., et al. (2022). Value-added from microwave-assisted extraction of *Musa sapientum* waste as an alternative safe and effective agent for the treatment of hyperpigmentation. *Waste and Biomass Valorization*, 14(5), 1477–1499. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01969-6>
- [10] Phaisan, S., Makkliang, F., Putalun, W., Sakamoto, S., & Yusakul, G. (2021). Development of a colorless *Centella asiatica* (L.) Urb. extract using a natural deep eutectic solvent (NADES) and microwave-assisted extraction (MAE) optimized by response surface methodology. *RSC Advances*, 11, 8741–8750. <https://doi.org/10.1039/D0RA09934A>
- [11] Maisuthisakul, P., & Pongsawatmanit, R. (2004). Effect of sample preparation methods and extraction time on yield and antioxidant activity from Kradonbok (*Careya sphaerica* Roxb.) leaves. *Agriculture and Natural Resources*, 38(5), 8–14. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/243206/165953>
- [12] Sawadsukho, S. (2021). The development of herbs tablet formulation for milk production in postpartum mothers (Master's thesis, Maejo University, Chiang Mai, Thailand). <http://202.28.38.45/dspace/bitstream/123456789/823/1/6103307004.pdf>
- [13] Ghosh, P., Ghosh, C., Das, S., Das, C., Mandal, S., & Chatterjee, S. (2019). Botanical description, phytochemical constituents and pharmacological properties of *Euphorbia hirta* Linn: A review. *International Journal of Health Sciences and Research*, 9(3), 273–286. https://www.ijhsr.org/IJHSR_Vol.9_Issue.3_March2019/39.pdf
- [14] Basma, A. A., Zakaria, Z., Latha, L. Y., & Sasidharan, S. (2011). Antioxidant activity and phytochemical screening of the methanol extract of *Euphorbia hirta* L. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(5), 386–390. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60109-0](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60109-0)
- [15] Sharma, N., Samarakoon, K. W., Gyawali, R., Park, Y. H., & Lee, S. J. (2014). Evaluation of the antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer activities of *Euphorbia hirta* extract. *Molecules*, 19(9), 14567–14581. <https://doi.org/10.3390/molecules190914567>
- [16] Asha, S., Thirunavukkarasu, P., & Prasanna, R. (2016). Phytochemical analysis and antioxidant activity of different extracts of *Euphorbia hirta* Linn. *European Journal of Medicinal Plants*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2016/24952>
- [17] Olalere, O. A., & Gan, C. Y. (2021). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from *Euphorbia hirta* leaf and characterization of its morphology and thermal stability. *Separation Science and Technology*, 56(11), 1853–1865. <https://doi.org/10.1080/01496395.2020.1795678>

-
- [18] Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- [19] Mikucka, W., Zielinska, M., Bułkowska, K., & Witonska, I. (2022). Recovery of polyphenols using microwave-assisted extraction. *Scientific Reports*, 12, 3732. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07322-0>
- [20] Tanruean, K., et al. (2025). Optimization of microwave-assisted extraction process using response surface methodology. *Applied Sciences*, 15, 1265. <https://doi.org/10.3390/app15031265>
- [21] Muniyandi, K., George, E., Sathyanarayanan, S., George, B. P., Abrahamse, H., Thamburaj, S., et al. (2019). Phenolics, tannins, flavonoids and anthocyanins contents influenced antioxidant and anticancer activities of *Rubus* fruits from Western Ghats, India. *Food Science and Human Wellness*, 8(1), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.005>
- [22] Sagar, V. R., & Suresh Kumar, P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 15–26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>
- [23] Olalere, O. A., & Gan, C. Y. (2021). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from *Euphorbia hirta* leaf and characterization of its morphology and thermal stability. *Separation Science and Technology*, 56(11), 1853–1865. <https://doi.org/10.1080/01496395.2020.1795678>
- [24] Meechai, I., Phupong, W., Chunglok, W., & Meepowpan, P. (2016). Antiradical activities of xanthenes and flavonoids from *Garcinia schomburgkiana*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 8(9), 235–238. <https://doi.org/10.22159/ijpps.2016v8i9.13213>
- [25] Daukšienė, J., Burdulienė, K., Daukšys, G., Paulauskaitė, L., & Burdulis, D. (2024). The influence of raw material preparation on the yield of bioactive substances in lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) fruits. *Chemija*, 35(1), 1–9. <https://doi.org/10.6001/chemija.2024.35.1.1>
- [26] Wacharatewinkul, Y., & Riangmoo, A. (2020). Physicochemical and antimicrobial activity of Thao Yai Mom (*Tacca leontopetaloides* (L.) Kuntze.) extracts. *Srinakharinwirot University Journal of Science and Technology*, 12(24), 23–35. <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/13156/10828>
- [27] Vičkačkaitė, V., Pronckutė, J., & Poškus, V. (2024). Analysis of wormwood (*Artemisia absinthium* L.) teas. *Chemija*, 35(2), 45–53. <https://doi.org/10.6001/chemija.2024.35.2.3>
- [28] Sharma, N., Samarakoon, K. W., Gyawali, R., Park, Y. H., Lee, S. J., Oh, S. J., et al. (2014). Evaluation of the antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer activities of *Euphorbia hirta* ethanolic extract. *Molecules*, 19(9), 14567–14581. <https://doi.org/10.3390/molecules190914567>

- [29] Souza, D. E. S., De Melo, J. J. C., Dos Santos, F. F. D. S., Vasconcelos, A. L. D. S., De Jesus, A. D. S., Freitas, L. D. S., et al. (2024). Foods. Foods, 13(19), 3141. <https://doi.org/10.3390/foods13193141>
- [30] Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. Current Research in Food Science, 4, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- [31] Mikucka, W., Zielińska, M., Bułkowska, K., & Witońska, I. (2022). Subcritical water extraction of bioactive phenolic compounds from distillery stillage. Journal of Environmental Management, 318, 115548. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115548>
- [32] Khiya, Z., Oualcadi, Y., Gamar, A., Berrekhis, F., Zair, T., & Hilali, F. E. (2021). Correlation of total polyphenolic content with antioxidant activity of hydromethanolic extract and their fractions of the *Salvia officinalis* leaves from different regions of Morocco. Journal of Chemistry, 2021, Article 8585313. <https://doi.org/10.1155/2021/8585313>

การประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ในจังหวัดสมุทรปราการ APPLY OF DIGITAL TECHNOLOGY FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN SAMUT PRAKAN PROVINCE

ธิติมา เกตุแก้ว ^{*1} วิชัย สีแก้ว ² เอกรัตน์ สุขะสุนนท์ ³

Thitima Ketkaew ^{*1}, Wichai Sikeaw ², Eakarat Suksukont ³

^{*1} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

³ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

^{*1} Faculty of Science and Technology, Environmental Management Program,
Dhonburi Rajabhat University

² Faculty of Science and Technology, Computer Science Program,
Dhonburi Rajabhat University

³ Faculty of Science and Technology, Digital Technology Program,
Dhonburi Rajabhat University

* E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): thitima.k@dru.ac.th

วันที่รับบทความ 14 พฤศจิกายน 2568 วันที่แก้ไขบทความ 28 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม ของจังหวัดสมุทรปราการ และเพื่อออกแบบดิจิทัลแพลตฟอร์มข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยในการออกแบบฐานข้อมูลใช้ MySQL Database Server 5.7.24 และphpMyAdmin 5.0.4 และเว็บไซต์ใช้ระบบภาษา HTML 5, CSS 3, JavaScript, PHP 7.4.9 และทำการประเมินผลการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อมโดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง พบว่าระบบสารสนเทศทางด้านสิ่งแวดล้อมของจังหวัดสมุทรปราการ ได้ออกแบบไว้ 5 หมวด คือ ข้อมูลเนื้อหา ข้อมูลสถานี ข้อมูลอากาศ ข้อมูลน้ำ และข้อมูลขยะมูลฝอย และจากการประเมินผลการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม พบว่าเป็นแหล่งข้อมูลที่เป็นไปตามความต้องการและความถูกต้องของระบบในการนำเสนอข้อมูล มีประสิทธิภาพดีมาก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด และมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 4.68 ± 0.47 (ดีมาก) รองลงมา คือ ตรงตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม 4.61 ± 0.59 (ดีมาก) และความถูกต้องของระบบในการค้นหาข้อมูล เท่ากับ 4.59 ± 0.64 (ดีมาก) โดยระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม จังหวัดสมุทรปราการ เป็นการรวบรวมข้อมูลสารสนเทศทางด้านสิ่งแวดล้อมให้เป็นฐานข้อมูลเดียวกัน ทำให้หน่วยงาน และประชาชนทั่วไป สามารถเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศสิ่งแวดล้อมในรูปแบบเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เพื่อใช้ประกอบการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมได้ในพื้นที่ได้ รวมทั้งใช้ในการวางแผนจัดการสิ่งแวดล้อมเชิงพื้นที่จากข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมย้อนหลังและปัจจุบันได้อีกด้วย

คำสำคัญ: เทคโนโลยีดิจิทัล; ภูมิสารสนเทศ; การจัดการสิ่งแวดล้อม

ABSTRACT

The objectives of this research were to design an environmental geospatial database of Samut Prakan province; and to design digital environmental geospatial information platform for environmental management. The database was designed using MySQL Database Server 5.7.24 and phpMyAdmin 5.0.4, the website was developed using HTML 5, CSS 3, JavaScript, and PHP 7.4.9., and the system performance was evaluated using questionnaires administered to a purposively selected sample. The result showed that the environmental information system of Samut Prakan Province was designed with five categories: content, stations, air, water, and solid waste. The results of the system performance evaluation showed that: (1) in terms of user needs and the accuracy of data presentation, the system achieved a very good level of efficiency, with the highest mean score of $4.68 + 0.47$ for both aspects; (2) the system met the objectives of the environmental information system development, with a mean score of $4.61 + 0.59$; and (3) the accuracy of the system in information retrieval was rated at a very good level, with a mean score of $4.59 + 0.64$. The environmental information system of Samut Prakan Province integrates environmental data into a unified database, enabling government agencies and the general public to access both qualitative and quantitative information to support environmental management and spatial planning based on historical and current environmental quality data.

Keywords: Digital Technology; Geoinformatics; environmental management

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีดิจิทัลมีอิทธิพลอย่างมากต่อทั้งภาคเศรษฐกิจและภาคสังคม จึงมีการนำเทคโนโลยีดิจิทัลไปปรับใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยไม่ได้เป็นเพียงสนับสนุนการทำงาน ยังหลอมรวมเข้ากับวิถีการดำเนินชีวิต และปฏิบัติโครงสร้างรูปแบบกิจกรรม ทางเศรษฐกิจ กระบวนการผลิต การค้า การบริการ ประกอบกับรัฐบาลมีนโยบายในการสร้างสังคมคุณภาพที่ทั่วถึงเท่าเทียมด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล ซึ่งเป็นการพัฒนาประเทศไทยที่ประชาชนทุกกลุ่มสามารถเข้าถึง และใช้ประโยชน์จากบริการต่างๆ ผ่านเทคโนโลยีดิจิทัล มีการรวบรวมและแปลงข้อมูลองค์ความรู้ของประเทศทั้งระดับประเทศและระดับท้องถิ่น ให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัลที่ประชาชนสามารถเข้าถึงและนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยง่ายและสะดวก โดยประชาชนมีความรู้เท่าทันข้อมูลข่าวสาร และมีทักษะในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดิจิทัลอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคม [1]

การนำเทคโนโลยีดิจิทัลไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยการจัดการสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็น ที่จะได้เห็นภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชนหันมาให้ความสำคัญกับปัญหาด้าน ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การนำเทคโนโลยีดิจิทัล มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม หรือนำมาเป็นเครื่องมือในการสร้างแพลตฟอร์มต่างๆ เพื่อให้ภาครัฐ ชุมชน และภาคประชาสังคม มีข้อมูลดิจิทัลที่สามารถนำไปใช้ในการทำงาน การบริหาร การวางแผน

การตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่ออนุรักษ์ฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ให้มีความยั่งยืน จากการพัฒนาระบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ของสืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์ [2] โดยออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศและสำรวจเก็บพิกัดด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม มาเชื่อมโยงกับข้อมูลในรูปแบบของสถิติตารางและข้อความรวมไปถึงฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศที่มีอยู่เดิม พบว่าฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม สามารถแสดงข้อมูลสถิติ ตัวเลขต่างๆ และตำแหน่งพิกัดในแผนที่ทำให้ทำความเข้าใจได้ง่าย และสะดวกมากกว่าการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของตารางเพียงอย่างเดียว และทำให้ได้ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศด้านสิ่งแวดล้อมที่แสดงสถานการณ์สิ่งแวดล้อม ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ สามารถใช้ประกอบข้อมูลประกอบการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ได้

สถานการณ์ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดสมุทรปราการ พบว่าจังหวัดสมุทรปราการที่เป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก มีโรงงานอุตสาหกรรม 6,342 แห่ง ในปี 2565 [3] ประกอบกับเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของจังหวัดสมุทรปราการได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว รวมทั้งยังเป็นที่ตั้งของสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของจังหวัดสมุทรปราการในวงกว้าง ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของจังหวัดสมุทรปราการ ได้แก่ มลพิษทางน้ำ ปริมาณขยะมูลฝอย และคุณภาพอากาศ โดยหน่วยงานภาครัฐ และภาคประชาชน ยังขาดข้อมูลภูมิสารสนเทศด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัจจุบัน และยังไม่มีการเชื่อมโยงข้อมูลของหน่วยงาน ดังนั้นการนำเทคโนโลยีดิจิทัล และดิจิทัลแพลตฟอร์ม ไปใช้ในการพัฒนา และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม และเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลทางด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม และทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยระบบภูมิสารสนเทศ รวมทั้งมีข้อมูลที่มีความสมบูรณ์ครบถ้วนและถูกต้อง นำไปสู่ความเข้าใจในสถานการณ์สิ่งแวดล้อม วิเคราะห์ และประเมินสถานการณ์ อันจะนำไปสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมระดับจังหวัดอย่างเหมาะสมต่อไป

จากประเด็นปัญหาดังกล่าวข้างต้น การประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ในจังหวัดสมุทรปราการ เป็นการนำเทคโนโลยีดิจิทัล และดิจิทัลแพลตฟอร์ม ไปใช้ในการพัฒนา และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม และเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อม ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยระบบภูมิสารสนเทศ รวมทั้งมีข้อมูลที่มีความสมบูรณ์ครบถ้วนและถูกต้อง นำไปสู่ความเข้าใจในสถานการณ์สิ่งแวดล้อม วิเคราะห์ และประเมินสถานการณ์ อันจะนำไปสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมระดับจังหวัดอย่างเหมาะสมต่อไป

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศ

เทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นการนำเอาคำว่า เทคโนโลยี และ สารสนเทศ รวมเข้าไว้ด้วยกันแล้ว สรุปความหมายโดยรวมได้ว่า เทคโนโลยีสารสนเทศ หรือ ไอที (IT : Information Technology) คือ การประยุกต์เอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มาจัดการสารสนเทศที่ต้องการ โดยอาศัยเครื่องมือทางเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น เทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ ด้านเทคโนโลยี ด้านเครือข่ายโทรคมนาคมและการสื่อสาร ตลอดจนอาศัยความรู้ในกระบวนการดำเนินงานสารสนเทศในขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การแสวงหา การวิเคราะห์ การจัดเก็บ รวมถึงการจัดการเผยแพร่และแลกเปลี่ยนสารสนเทศด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความถูกต้อง ความแม่นยำ และความรวดเร็วทันต่อการนำมาใช้

ประโยชน์ได้นั่นเอง ดังนั้นเทคโนโลยีสารสนเทศจึงหมายถึง การนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มาพัฒนาเป็นองค์ความรู้ใหม่เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเทคโนโลยีที่นำมาใช้จัดการสารสนเทศต่างๆ เหล่านี้ อาจเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีทางการสื่อสารและโทรคมนาคม เป็นต้น [4][5]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สีบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์ [2] ได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน จังหวัดเชียงราย โดยการพัฒนาฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมได้มีการออกแบบโครงสร้างชั้นข้อมูลที่ตั้งสถานที่กำหนดข้อมูลพอย ปริมาณขยะจำแนกรายตำบลที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำที่ ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ เชื่อมโยงกับพิกัดตำแหน่งข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่ตั้งจุดด้วยเครื่องกำหนดพิกัดด้วยดาวเทียม ทำให้ได้ฐานข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศด้านสิ่งแวดล้อมและทำให้ได้แผนที่แสดงสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ ทำให้ท้องถิ่นสามารถวางแผนติดตามและเพื่อป้องกันมลพิษต่างๆ ได้ และสามารถจัดเก็บเป็นสถิติรายปีได้ทำให้ติดตามความเคลื่อนไหวของสิ่งแวดล้อมย้อนหลังและคาดการณ์สถานการณ์ในอนาคตได้อีกด้วย

ธนพนธ์ ต้นสุชี และคณะ [6] ได้ศึกษาการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ โดยพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ที่พัฒนาด้วยภาษา C/C++, HTML, CSS, PHP เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL และเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลคือแบบประเมินประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชันวิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 1) วิเคราะห์ ปัญหาและความต้องการ 2) ออกแบบระบบ 3) พัฒนาระบบ 4) ทดสอบระบบ และ 5) ประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 3 คน ผลการวิจัยพบว่า 1) เว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ โดยระบบสามารถตรวจจับสภาวะอากาศและมลพิษและบันทึกข้อมูลวันเดือน ปีและเวลา ของการแจ้งเตือนสภาวะอากาศในแต่ละวันเข้าฐานข้อมูลเพื่อแสดงรายงานการแจ้งเตือนสภาวะอากาศ โดยสามารถดูรายละเอียดของสภาวะอากาศได้ผ่านตำแหน่งของสถานที่ที่ปิกหมุดบนแผนที่ภูมิศาสตร์ และ 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชัน แจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน อยู่ในระดับดีมาก

3. วิธีการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัย คือ หน่วยงานกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม จังหวัดสมุทรปราการ และประชาชนทั่วไปกลุ่มผู้นำชุมชน จากองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น จำนวน 48 แห่ง ในจังหวัดสมุทรปราการ โดยกลุ่มตัวอย่างคัดเลือกจากผู้ที่ใช้ระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม แบ่งเป็นตัวแทนกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม ในจังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 48 คน และตัวแทนประชาชนทั่วไปกลุ่มผู้นำชุมชน จำนวน 50 คน รวมเป็น 98 คน โดยทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม มีเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ดังนี้

- 1) ระบบปฏิบัติการ คือ Microsoft Windows Server 2012 R2
- 2) โปรแกรมบริหารฐานข้อมูล คือ phpMyAdmin 5.0.4
- 3) เว็บเซิร์ฟเวอร์ คือ Internet Information Services 8.5.9600.16384
- 4) ระบบจัดการฐานข้อมูล คือ MySQL Database Server 5.7.24
- 5) ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนา คือ HTML 5, CSS 3, JavaScript, PHP 7.4.9

2.2 แบบสอบถามประเมินผลการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม โดยแบบสอบถามนี้ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาคำดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามและวัตถุประสงค์ (Item Objective Congruence index : IOC) มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ 0.94 โดยผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้มีความถูกต้องและชัดเจนมากขึ้น แล้วนำแบบสอบถามไปสอบถามกลุ่มเป้าหมายของการวิจัย

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ โดยแบ่งการดำเนินการเก็บข้อมูล

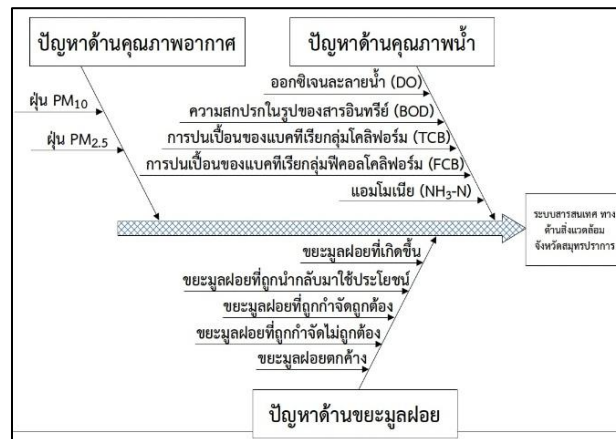
1) ค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย เอกสารทางวิชาการ รายงานการวิจัย บทความวารสาร วิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง และแหล่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต เพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

2) เก็บรวบรวมข้อมูลด้านคุณภาพอากาศ ด้านคุณภาพน้ำ และด้านขยะมูลฝอย

3.3.2 ศึกษาข้อมูลปฐมภูมิ โดยแบ่งการดำเนินการเก็บข้อมูล

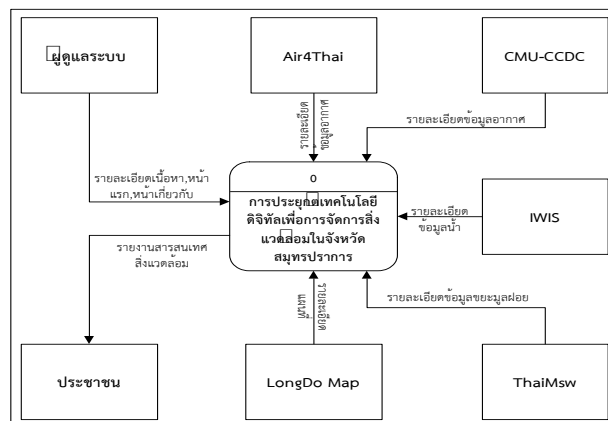
1) เก็บข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและสร้างระบบฐานข้อมูลสารสนเทศสิ่งแวดล้อมขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบฐานข้อมูลสารสนเทศสิ่งแวดล้อม โดยทำการจัดทำร่างระบบฐานข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสมุทรปราการ โดยจำแนกฐานข้อมูลออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ข้อมูลด้านคุณภาพอากาศ ข้อมูลด้านคุณภาพน้ำ และข้อมูลด้านขยะมูลฝอย โดยมีความถี่การปรับปรุงข้อมูล (update) ได้แก่ ข้อมูลอากาศ มีการปรับปรุงข้อมูลจากจุดตรวจจับอากาศเป็นรายชั่วโมง ข้อมูลน้ำ มีการปรับปรุงข้อมูลจากจุดตรวจจับเป็น รายชั่วโมง และข้อมูลขยะมูลฝอย เป็นการรายงานผลจากหน่วยงานกำจัดขยะเป็นรายปี

2) ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการในการทำงานและความต้องการของระบบงานในแต่ละด้าน แล้ว ซึ่งจัดทำข้อมูลต่างๆ ให้อยู่ในรูปของฐานข้อมูลจะทำให้ทราบระบบที่มีประสิทธิภาพ ต้องอาศัยระบบสารสนเทศทางด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เฉพาะของจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งทางผู้วิจัยได้ออกแบบให้ใช้งานบนเว็บไซต์ (Website) โดยใช้วงจรการพัฒนาสารสนเทศ (System Development Life Cycle : SDLC) และการนำเสนอข้อมูลอย่างทันทั่วทั้งที่ทั้งในรูปการนำเสนอทางจอภาพและการออกรายงาน โดยแสดงเป็นแผนภูมิ ก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภูมิกำงปลาปัญหาสิ่งแวดล้อม

และมีแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) การไหลของข้อมูลจากภายนอกกระบวนเข้าสู่ระบบโดยข้อมูลจะมาจากต้นทางเข้าสู่กระบวนการต่างๆ เพื่อประมวลผลอีกทั้งมีการจัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล โดยใช้แผนภาพกระแสข้อมูลชุดสัญลักษณ์ มาตรฐานที่พัฒนาโดย Gane and Sarson [7] มาสร้างเป็นแผนภาพ กระแสข้อมูล จนได้เป็นแผนภาพกระแสข้อมูล ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพกระแสข้อมูล

3) เก็บข้อมูลประเมินผลการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อมแล้วนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมมาวิเคราะห์ข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ผลแบบสอบถามประเมินผลการใช้งานระบบสารสนเทศทางสิ่งแวดล้อม เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยดำเนินการหลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำเอาข้อมูลมาประมวลผลทางสถิติ

โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยเกณฑ์การยอมรับการประเมินผลประสิทธิภาพการใช้งานการประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ในจังหวัดสมุทรปราการที่พัฒนาขึ้น จะต้องมียุทธศาสตร์อยู่ในระดับดีขึ้น โดยมีการแปลผลค่าเฉลี่ย [8] ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายความว่า มีประสิทธิภาพดีมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายความว่า มีประสิทธิภาพดี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายความว่า มีประสิทธิภาพปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายความว่า มีประสิทธิภาพน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.50 หมายความว่า มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด

4. ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม ของจังหวัดสมุทรปราการ

การพัฒนาฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม ของจังหวัดสมุทรปราการ เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ประกอบไปด้วย

1) จากการรวบรวมข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากแหล่งสารสนเทศที่มีการรวบรวม เอาไว้แล้ว ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลด้านคุณภาพอากาศ ข้อมูลด้านคุณภาพน้ำ และข้อมูลด้านขยะมูลฝอย จากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ศูนย์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดสมุทรปราการ และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 (ชลบุรี)

2) ออกแบบฐานข้อมูลมีกระบวนการขั้นตอน คือ

2.1) ศึกษาข้อมูลสารสนเทศคุณภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อออกแบบโครงสร้างของชุดข้อมูล และจัดหมวดหมู่ของชุดข้อมูลที่บรรจุไว้ในฐานข้อมูล

2.2) นำข้อมูลสารสนเทศคุณภาพสิ่งแวดล้อม มาออกแบบระบบฐานข้อมูล ประกอบด้วย

1) การกำหนดปัญหา โดยวิเคราะห์ข้อมูลสารสนเทศคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยจำแนกฐานข้อมูลออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ข้อมูลด้านคุณภาพอากาศ ข้อมูลด้านคุณภาพน้ำ และข้อมูลด้านขยะมูลฝอย

2) การวิเคราะห์ระบบและออกแบบระบบ โดยใช้ขั้นตอนที่ง่ายต่อผู้ใช้งานเพื่อให้ง่ายต่อการป้อนข้อมูล และง่ายต่อการนำระบบสารสนเทศไปใช้

3) การออกแบบระบบโดยใช้เครื่องมือทางสารสนเทศ คือ แบบจำลองความสัมพันธ์เอนทิตี (Entity Relationship Diagram) และพจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary)

4) การออกแบบการป้อนเข้า (Input Design) ได้ออกแบบการป้อนเข้าและการแสดงผลในส่วนเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจของผู้ใช้ระบบเป็นผู้ป้อนข้อมูล ประกอบด้วย เมนู และการออกแบบการผล

3) ระบบการจัดการฐานข้อมูล ได้แก่

3.1) ระบบการจัดการ ประกอบไปด้วย

1) ฐานข้อมูลใช้ MySQL Database Server 5.7.24 และโปรแกรมบริหารฐานข้อมูล คือ phpMyAdmin 5.0.4 โดยระบบจัดการฐานข้อมูล เป็นแบบที่ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมดในรูปแบบของตารางแทนการ

เก็บข้อมูลทั้งหมดลงในฐานข้อมูลเดียวทำให้ทำงานได้รวดเร็วและมีความยืดหยุ่น และแต่ละตารางที่เก็บข้อมูลสามารถเชื่อมโยงเข้าหากันทำให้สามารถจัดกลุ่มข้อมูลได้ตามต้องการ

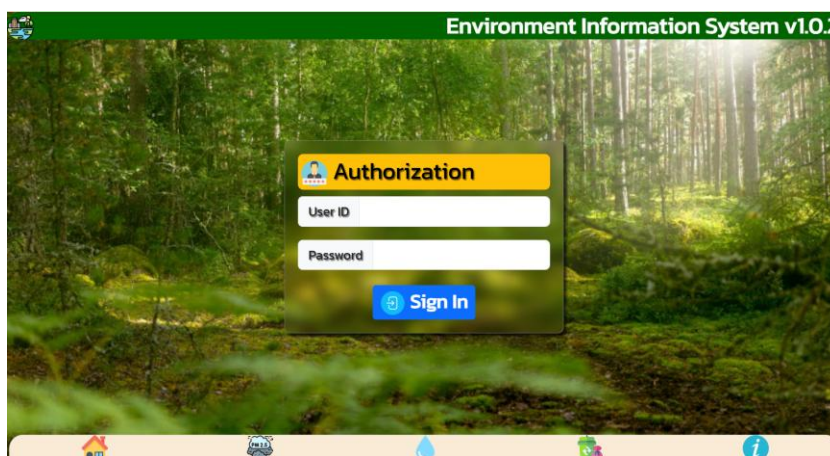
2) เว็บไซต์ใช้เครื่องมือภาษา HTML 5, CSS 3, JavaScript, PHP 7.4.9 ซึ่งใช้พัฒนาจุดเด่นและมีประสิทธิภาพการใช้งานได้ดีสามารถใช้ร่วมกับระบบปฏิบัติการอื่นๆ ได้ เช่น Ms-Windows, Unix, Linux และ iOS

3.2) ฐานข้อมูลและการใช้ ประกอบไปด้วย

1) ฐานข้อมูลและการสืบค้นกำหนดหัวข้อในการจัดเก็บข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ต่างๆ จำนวน 3 หัวข้อ ซึ่งมีการรวบรวมข้อมูลสารสนเทศจากหน่วยงานต่างๆ นั้นมีการออกแบบไว้ 5 หมวด คือ ข้อมูลเนื้อหา ข้อมูลสถานที่ ข้อมูลอากาศ ข้อมูลน้ำ และข้อมูลขยะมูลฝอย

2) การใช้งานของผู้ใช้มีการกำหนดการเข้าถึง (Access) ในระดับต่างๆ ดังนี้

2.1) ผู้ควบคุมและจัดการข้อมูลระบบหลังบ้าน (Back Office) คือ ผู้ดูแลระบบสารสนเทศสามารถควบคุมการใช้งานของฐานข้อมูลทั้งหมดและมอบหมายบทบาทหน้าที่ให้กับผู้แก้ไขข้อมูล (Editor) โดยได้ออกแบบการป้อนเข้าและการผลให้อยู่ในส่วนเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจของผู้ใช้ระบบ และผู้ที่เป็นผู้ป้อนข้อมูล โดยเมื่อเข้าสู่ระบบโดยผู้ใช้ระบบ (ผู้ดูแลระบบ) ระบบจะให้มีการระบุตัวตนของผู้ดูแลระบบ ซึ่งจะต้องระบุ ชื่อผู้ใช้งาน (User ID) และ รหัสผ่าน (Password) ดังภาพที่ 3

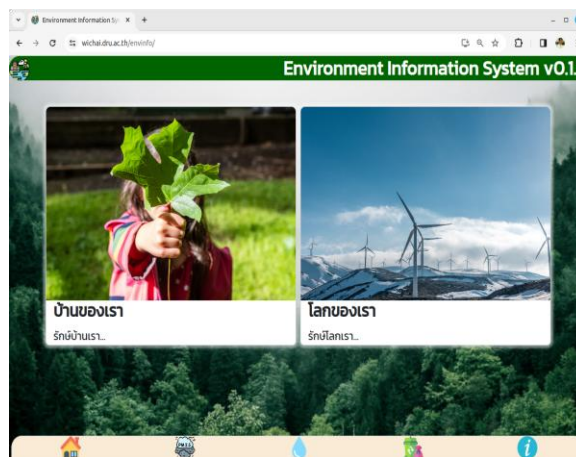


ภาพที่ 3 หน้าจอตรวจสอบการเข้าสู่ระบบ

2.2) ผู้ใช้งาน (User) การเข้าถึงของผู้ใช้ในระดับ Reader อนุญาตผู้ใช้อ่านเอกสาร ในฐานข้อมูลแต่ไม่สร้างหรือแก้ไขเอกสาร ซึ่งจะแสดงผลและข้อมูลต่าง ๆ ของระบบสารสนเทศนี้ทั้งหมด โดยมีรูปแบบการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

2. ผลการออกแบบดิจิทัลแพลตฟอร์มข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ของจังหวัดสมุทรปราการ

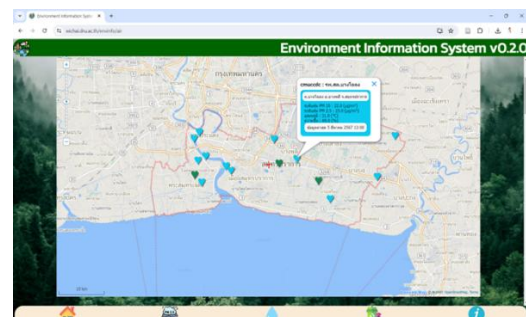
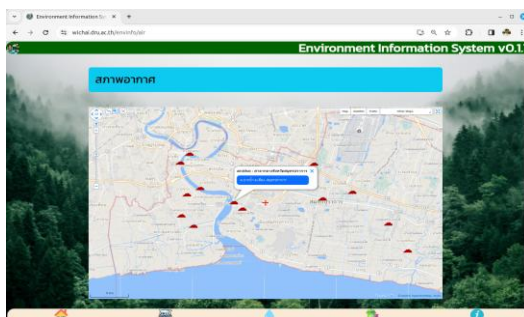
จากการออกแบบดิจิทัลแพลตฟอร์มข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ของ จังหวัดสมุทรปราการ นั้น ได้พัฒนาระบบสารสนเทศบนแพลตฟอร์มของ เว็บเทคโนโลยี หรือเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เพื่อเป็นการง่ายที่จะเข้าถึงได้ทุกแพลตฟอร์ม ไม่ว่าจะเป็นระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Ms-Windows) แมคโอเอส (MacOS) ลินุกซ์ (Linux) ไอโฟน (iPhone) แอนดรอยด์ (Android) โดยระบบจะทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) สามารถเข้าระบบสารสนเทศได้ที่ <https://wichai.dru.ac.th/envinfo> ในการเข้าระบบได้เมื่อเข้าสู่เว็บไซต์จะหน้าแรก ดังภาพที่ 4



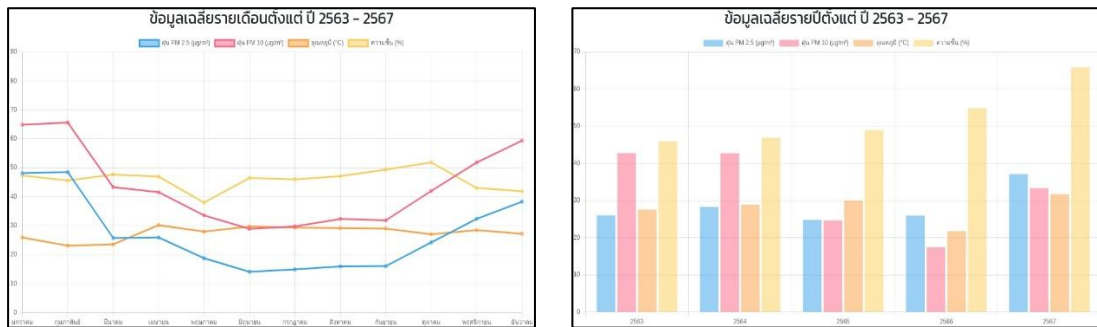
ภาพที่ 4 หน้าแรกของระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม จังหวัดสมุทรปราการ

โดยแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ คือ ส่วนหัว เมนู และเนื้อหา โดยกำหนดหมวดหมู่สำคัญที่จะไว้บนเว็บไซต์ 3 ด้าน ประกอบด้วย

1) ด้านคุณภาพอากาศ จะประกอบด้วย ที่ตั้งตำแหน่งตรวจวัดคุณภาพอากาศ ค่าคุณภาพอากาศ ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ ปี 2563 – 2567 และข้อมูลเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ ปี 2563 – 2567 ดังภาพที่ 5 – 6

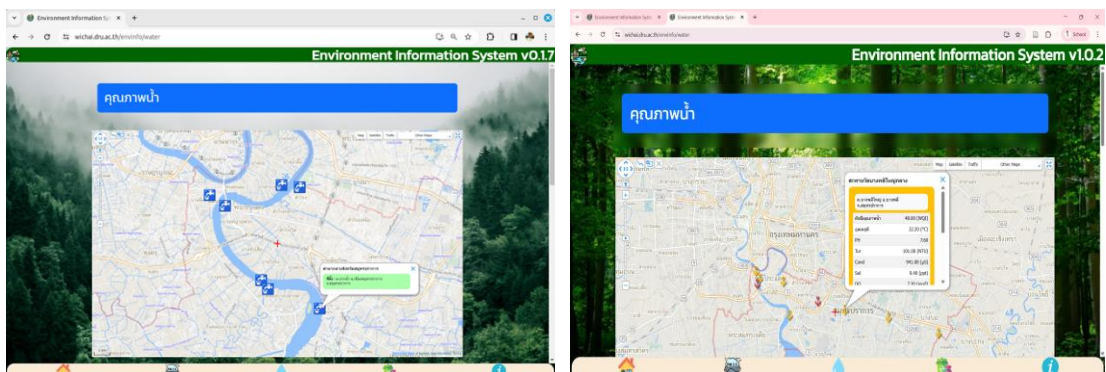


ภาพที่ 5 หน้าเนื้อหาคุณภาพอากาศ แสดงตำแหน่งตรวจวัดคุณภาพอากาศ และค่าคุณภาพอากาศ

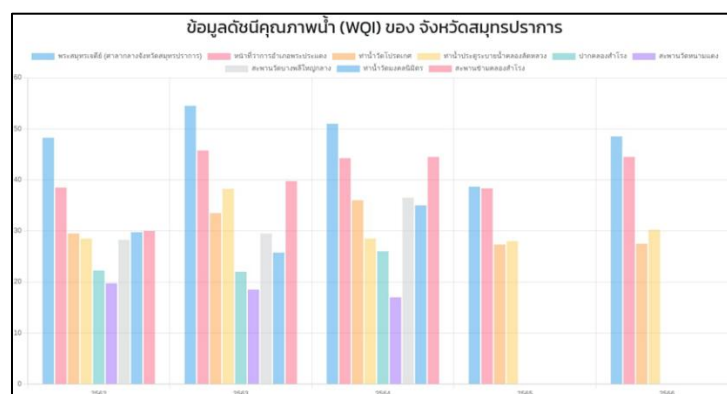


ภาพที่ 6 หน้าเนื้อหาข้อมูลคุณภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ ปี 2563 – 2567

2) คุณภาพน้ำ จะประกอบด้วย ที่ตั้งตำแหน่งการวัดคุณภาพน้ำ ข้อมูลค่าคุณภาพน้ำของจังหวัดสมุทรปราการ และข้อมูลคุณภาพน้ำเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ ปี 2563 – 2567 ดังภาพที่ 7 – 8

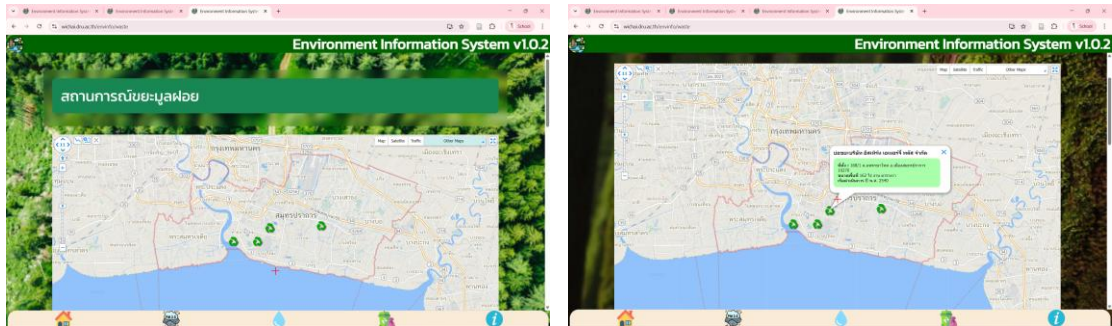


ภาพที่ 7 หน้าเนื้อหาคุณภาพน้ำ แสดงตำแหน่งตรวจวัดคุณภาพน้ำ และค่าคุณภาพน้ำ

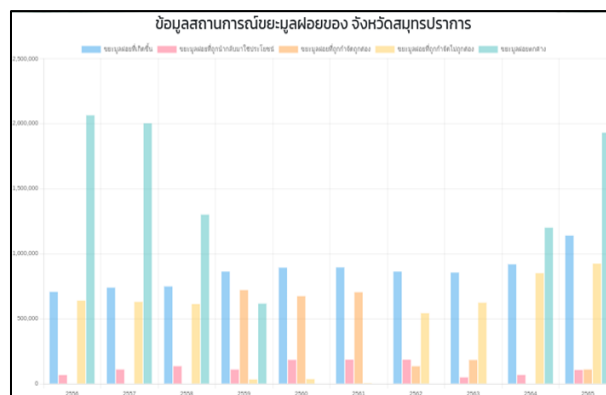


ภาพที่ 8 หน้าเนื้อหาข้อมูลดัชนีคุณภาพน้ำ (WQI) ข้อมูลเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ ปี 2563 – 2566

3) สถานการณ์ขยะมูลฝอย จะประกอบด้วย ที่ตั้งตำแหน่งแหล่งกำจัดขยะมูลฝอย และข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของจังหวัดสมุทรปราการ ดังภาพที่ 9 - 10



ภาพที่ 9 หน้าเนื้อหาสถานการณ์ขยะมูลฝอย แสดงตำแหน่งแหล่งกำจัดขยะมูลฝอย และข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของจังหวัดสมุทรปราการ



ภาพที่ 10 หน้าเนื้อหาข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอย จำแนกประเภทการจัดการขยะ

จากการประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสมุทรปราการนั้น เพื่อเป็นการง่ายที่จะสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ใช้ประกอบการบริหารในการตัดสินใจในการจัดการสิ่งแวดล้อมได้ เพราะแหล่งข้อมูลสารสนเทศที่สำคัญมีอยู่มากมาย แต่มีข้อมูลอยู่หลากหลายแหล่ง เพื่อให้สามารถเข้าถึงข้อมูลเฉพาะที่ได้อย่างรวดเร็ว และทำให้ผู้คนทั่วไปในเข้าใจสถานการณ์ต่างๆ ด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

3. ผลประเมินการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสมุทรปราการ

จากการผลประเมินการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสมุทรปราการ โดยการทดสอบจากการเก็บแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม ในจังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 48 คน และผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 50 คน รวมเป็น 98 คน พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 54.08 มีอายุ 36 - 50 ปี จำนวน 41 คน คิดเป็นร้อยละ 41.84 และเป็นเจ้าหน้าที่กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม จำนวน 43 คน คิดเป็นร้อยละ 43.88 สำหรับความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม พบว่าประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยมาก

ที่สุด คือ เป็นแหล่งข้อมูลที่เป็นไปตามความต้องการ และความถูกต้องของระบบในการนำเสนอข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ $4.68 + 0.47$ (มีประสิทธิภาพดีมาก) มีค่าเฉลี่ยรองลงมา คือ ตรงตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม $4.61 + 0.59$ (มีประสิทธิภาพดีมาก) และความถูกต้องของระบบในการค้นหาข้อมูล เท่ากับ $4.59 + 0.64$ (มีประสิทธิภาพดีมาก) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม

ประเด็น	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
1. ด้านตรงตามความต้องการ	4.58	0.57	ดีมาก
2. ด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่	4.53	0.61	ดีมาก
3. ด้านความง่ายต่อการใช้งาน	4.49	0.61	ดี
4. ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.48	0.62	ดี
เฉลี่ย	4.52	0.60	ดีมาก

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

จากผลการวิจัยการประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสมุทรปราการ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

5.1. การออกแบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม ของจังหวัดสมุทรปราการ

ระบบฐานข้อมูล ประกอบไปด้วย 1) รวบรวมข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากแหล่งสารสนเทศจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง 2) ออกแบบฐานข้อมูลสารสนเทศคุณภาพสิ่งแวดล้อม 3) ระบบการจัดการฐานข้อมูล ได้แก่ 3.1) ระบบการจัดการ ประกอบไปด้วย ฐานข้อมูลใช้ MySQL Database Server 5.7.24 โปรแกรมบริหารฐานข้อมูล คือ phpMyAdmin 5.0.4 และเว็บไซต์ใช้ระบบภาษา HTML 5, CSS 3, JavaScript, PHP 7.4.9 3.2) การออกแบบฐานข้อมูลและการใช้ ประกอบไปด้วย 1) ฐานข้อมูลและการสืบค้นกำหนดหัวข้อในการจัดเก็บข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ต่างๆ จำนวน 3 ซึ่งมีการรวบรวมข้อมูลสารสนเทศจากหน่วยงานต่างๆ นั้นมีการออกแบบไว้ 5 หมวด คือ ข้อมูลเนื้อหา ข้อมูลสถานี ข้อมูลอากาศ ข้อมูลน้ำ และข้อมูลขยะมูลฝอย ซึ่งสอดคล้องกับ ธนพนธ์ ต้นสุขิ (2565) ที่พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ โดยพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสภาวะอากาศ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์ที่พัฒนาด้วยภาษา C/C++, HTML, CSS, PHP เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL และเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลคือแบบประเมินประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชันวิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 1) วิเคราะห์ ปัญหาและความต้องการ 2) ออกแบบระบบ 3) พัฒนาระบบ 4) ทดสอบระบบ และ 5) ประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญ

5.2 ผลการออกแบบดิจิทัลแพลตฟอร์มข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ของจังหวัดสมุทรปราการ

จากการออกแบบดิจิทัลแพลตฟอร์มข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ของจังหวัดสมุทรปราการ นั้น ได้พัฒนาระบบสารสนเทศบนแพลตฟอร์มของ เว็บเทคโนโลยี หรือเว็บแอปพลิเคชัน

(Web Application) เพื่อเป็นการง่ายที่จะเข้าถึงได้ทุกแพลตฟอร์ม ไม่ว่าจะเป็นระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Ms-Windows) แมคโอเอส (MacOS) ลินุกซ์ (Linux) ไอโฟน (iPhone) แอนดรอยด์ (Android) โดยระบบจะทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) สามารถเข้าระบบสารสนเทศได้ที่ <https://wichai.dru.ac.th/envinfo> ซึ่งสอดคล้องกับ พัชรภรณ์ หงษ์สืบสอง และคณะ [9] ได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการข้อมูลธนาคารขยะโดยการมีส่วนร่วมของชุมชนมหาโพธิ์ อำเภอเมืองจังหวัดน่าน เป็นระบบที่สามารถทำงานได้ในทุกแพลตฟอร์มและไม่จำกัดอุปกรณ์เพิ่มความสะดวกให้แก่คณะกรรมการของชุมชนในด้านการจัดเก็บข้อมูลและทำให้การเก็บข้อมูลเป็นระบบมากขึ้น ซึ่งเมื่อเข้าสู่เว็บไซต์สารสนเทศสิ่งแวดล้อม จะเริ่มหน้าแรก โดยแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ คือ ส่วนหัวเมนู และเนื้อหา โดยกำหนดหมวดหมู่สำคัญที่จะไว้บนเว็บไซต์ 5 หมวด คือ 1) ข้อมูลเนื้อหา 2) ข้อมูล สถานี 3) ข้อมูลอากาศ 4) ข้อมูลน้ำ และ 5) ข้อมูลขยะมูลฝอย ซึ่งการประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสมุทรปราการนั้น เพื่อให้สามารถเข้าถึงข้อมูลที่ใช้ประกอบการบริหารในการตัดสินใจในการจัดการสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งสอดคล้องกับสืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์ [2] ที่ทำการพัฒนาระบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน จังหวัดเชียงราย ทำให้ได้ฐานข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศด้านสิ่งแวดล้อมและทำให้ได้แผนที่แสดงสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม สามารถแสดงตำแหน่งพิกัดของสถานที่ร่วมกับข้อมูลสถิติตัวเลข เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ ทำให้ท้องถิ่นสามารถวางแผนติดตามและเพื่อป้องกันมลพิษต่างๆ ได้อย่างทันทั่วทั้ง

5.3 ผลประเมินการประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสมุทรปราการ

จากการผลประเมินการประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสมุทรปราการ โดยการทดสอบจากการเก็บแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม ในจังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 48 คน และผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 50 คน รวมเป็น 98 คน พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 54.08 มีอายุ 36 - 50 ปี จำนวน 41 คน คิดเป็นร้อยละ 41.84 และเป็นเจ้าหน้าที่กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม จำนวน 43 คน คิดเป็น 43.88 สำหรับความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม พบว่าประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ เป็นแหล่งข้อมูลที่เป็นไปตามความต้องการ และความถูกต้องของระบบในการนำเสนอข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือ 4.68 ± 0.47 (มีประสิทธิภาพดีมาก) มีค่าเฉลี่ยรองลงมา คือ ตรงตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบสารสนเทศสิ่งแวดล้อม $4.61 + 0.59$ (มีประสิทธิภาพดีมาก) และความถูกต้องของระบบในการค้นหาข้อมูล เท่ากับ 4.59 ± 0.64 (มีประสิทธิภาพดีมาก) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ นัฐพงศ์ ส่งเนียม [10] พบว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะสำหรับศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร โดยวิธีการคัดแยกขยะเป็นการสร้างจิตสำนึกที่ดีในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะของนักเรียนในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.59$, S.D. = 0.70) และสอดคล้องกับพัชรภรณ์ หงษ์สืบสอง และคณะ [9] พบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพด้านการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการข้อมูลธนาคารขยะ ภาพรวมอยู่ในระดับมาก และผลประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการข้อมูลธนาคารขยะจากคณะกรรมการธนาคารขยะ ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัย จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) จัดสรรให้มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ประจำปี พ.ศ. 2566 และหน่วยงานของภาครัฐและผู้เชี่ยวชาญที่อนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ประกาศ เรื่อง นโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วยการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมนโยบายและแผน (พ.ศ. 2561 – 2580). (2562, 9 เมษายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 136 ตอนที่ 47 ก. หน้า 1 – 71.
- [2] สืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์. (2560). การพัฒนาระบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน และจังหวัดเชียงราย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น, 11(1), หน้า 230-243.
- [3] สำนักงานจังหวัดสมุทรปราการ. (2566). แผนพัฒนาจังหวัดสมุทรปราการ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570). <https://www.samutprakan.go.th/wp-content/uploads/2023/04/ข้อ-4-แผนพัฒนาจังหวัดสมุทรปราการ-5-ปี-2566-2570.pdf>.
- [4] บาลานซ์(ดีเวลอปเปอร์). (2561). คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (ฉบับเตรียมสอบ). กรุงเทพมหานคร: ที.เค.พรินต์ติ้ง.
- [5] วสิน เพิ่มทรัพย์. (2561). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. กรุงเทพมหานคร: โปรวิชั่น.
- [6] ชนพนธ์ ต้นสุชี, อุบลรัตน์ ศิริสุขโกศา และไพศาล สิมะเลาเต่า. (2565). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสถานะอากาศด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับแผนที่ภูมิศาสตร์. ในการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 14. (หน้า 754-764). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- [7] Visual Paradigm. (2023, June 8). Gane-Sarson Data Flow Diagram Tutorial. <https://online.visual-paradigm.com/knowledge/software-design/ gane -sarson-dfd-tutorial>.
- [8] บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- [9] พัทธราภรณ์ หงษ์สิบสอง ภัทธีรา ฐระยศ และพลิชฐ์ กันถะนนท์. (2564). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการข้อมูลธนาคารขยะ โดยการใช้มีส่วนร่วมของชุมชนมหาโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน. วารสารวิชาการ “การจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม”, 8(1), 73-86.
- [10] นัฐพงศ์ ่องเนียม. (2563). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะสำหรับศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 12(3), 506-521.

การพัฒนาแอปพลิเคชันอ่านหนังสือบนสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง DEVELOPMENT OF AN EYE-CARE READING APPLICATION UTILIZING COLOR TONE ADJUSTMENT

ชยาภา พุ่มสมบัติ¹ และขวัญน่าน ประสมทอง^{*1}

Chayapa pumsombut¹, Kwannan Prasomtong^{*1}

¹ โรงเรียนนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

¹ Nakhonsawan School, Nakhonsawan

^{*} E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): kwannanps@gmail.com

วันที่รับบทความ 1 ธันวาคม 2568 วันที่แก้ไขบทความ 13 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

ค่านิยมของผู้คนส่วนใหญ่ได้เปลี่ยนมาอ่านหนังสือ บทความ และเนื้อหาต่างๆผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลายทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพที่สำคัญคือ อาการตาล้า (Eye Strain) และผลกระทบจากแสงสีน้ำเงิน (BlueLight) ซึ่งรบกวนจังหวะการนอนหลับ (Circadian Rhythm) และอาจนำไปสู่ภาวะตาแห้งหรืออาการปวดศีรษะได้ในอนาคตการอ่านบนหน้าจอที่สว่างจ้าจึงสวนทางกับความตั้งใจในการอ่านที่ยาวนานและต่อเนื่องแอปพลิเคชัน [LUMINO] ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นทางออกสำหรับปัญหานี้ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการสร้างประสบการณ์การอ่านดิจิทัลที่ถนอมสายตา ด้วยโหมดการปรับแสงโทนอุ่น (Warm-light Reading Mode) แสงโทนอุ่น (Warm Light) ซึ่งมีอุณหภูมิสีต่ำกว่าจะช่วยลดคลื่นแสงสีน้ำเงินพลังงานสูงที่หน้าจอปล่อยออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ลดอาการตาล้าและปรับปรุงคุณภาพการนอนหลับทำให้ผู้ใช้สามารถอ่านก่อนนอนได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อพฤติกรรมนอนนอกจากนี้แอปพลิเคชันนี้จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ตอบสนองต่อค่านิยมการอ่านยุคใหม่ที่เน้นความสะดวกสบายบนอุปกรณ์ดิจิทัล พร้อมทั้งยกระดับมาตรฐานด้านสุขภาพ โดยให้ผู้ใช้งานสามารถ อ่านได้นานขึ้นสบายตาขึ้นและส่งผลให้นอนหลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การอ่านหนังสือผ่านแอปพลิเคชัน [LUMINO] กลายเป็นพฤติกรรมที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสุขภาพรวมถึงสายตาของผู้ใช้งานในระยะยาว ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีระดับความพึงพอใจมากที่สุดคือ ด้านความง่ายต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน มีความพึงพอใจระดับมากที่สุดโดยค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.52 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.51

คำสำคัญ : แอปพลิเคชัน; แสงสีฟ้า; อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ABSTRACT

The values of most people have shifted to widely reading books, articles, and various content thru electronic devices, significant health problems have arisen, including eye strain and the effects of blue light, which disrupt the circadian rhythm and may lead to dry eyes or headaches in the future. Reading on a bright screen is therefore counterintuitive to the intention of long and continuous reading. The [LUMINO] application was developed as a solution to this problem, with the main objective of creating an eye-friendly digital reading experience. With the warm-light

reading mode, warm light, which has a lower color temperature, effectively reduces the high-energy blue light emitted by the screen, thereby reducing eye strain and improving sleep quality, allowing users to read before bed without negatively affecting sleep patterns. In addition, this application is an important tool that responds to the new reading values that emphasize convenience on digital devices, while also raising health standards. It allows users to read longer, more comfortably, and sleep more effectively, making reading books through the [LUMINO] application a sustainable and healthy behavior for users' eyes in the long run. The user satisfaction evaluation results showed that the aspect with the highest level of satisfaction was the ease of use of the application, with an overall mean satisfaction score of 4.52 and a standard deviation of 0.51.

Keywords: Application; Blue Light Electronic; Devices

1. บทนำ

เนื่องในปัจจุบันประชากรในช่วงวัยเรียนและวัยทำงานมีแนวโน้มในการใช้งานโทรศัพท์มือถือ และแท็บเล็ตในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น ในการทำงาน การศึกษา หรือเพื่อการความบันเทิงที่มากขึ้น หลังจากภาวะการแพร่ระบาดของ Covid-19 ที่เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้คนในช่วงวัยดังกล่าว ทำให้อาจารย์และนักเรียนส่วนหนึ่งต้องเผชิญกับความท้าทายพิเศษและขาดประสบการณ์ในการใช้อุปกรณ์ที่ใช้เวลานาน โดยการใช้ดิจิทัลแพลตฟอร์มเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้กระบวนการศึกษาด้วยแพลตฟอร์มออนไลน์มีประสิทธิภาพลดลงและเกิดปัญหาสุขภาพของผู้ใช้งาน [1] การปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนรู้อย่างรวดเร็วที่ต้องนั่งจ้องมองผ่านหน้าจออุปกรณ์การสื่อสาร ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีแสงส่องออกมาพร้อมกับตัวอักษรหรือภาพที่เคลื่อนไหวหรือมีภาพที่กระพริบขณะใช้งาน ทำให้ดวงตาต้องปรับโฟกัสใหม่ตลอดเวลาในการทำงานของหน้าจออุปกรณ์ดิจิทัลที่มีการตัดกันของเม็ดสี และการสั้นของพิกลเซลล์ตลอดเวลาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ต้องเพ่งสายตามากล้นเมื่อรอบดวงตาต้องทำงานหนักมากกว่าการอ่านหนังสือจากกระดาษ การใช้งานลักษณะนี้ติดต่อกันเป็นเวลานานนอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงแล้ว จะก่อให้เกิดผลเสียต่อตา มีการตอบสนองที่ไม่เหมาะสม [2]

ทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ทางเทคโนโลยีในยุคดิจิทัลเป็นระยะเวลานาน ไม่มีช่วงเวลาพักสายตาส่งผลให้เกิดอาการที่เรียกว่าความล้าของสายตา (visual fatigue) หรือกลุ่มอาการจอภาพคอมพิวเตอร์ (computer vision syndrome: CVS) ซึ่งเกิดจากกล้ามเนื้อตามีอาการเกร็งโดยการยืดหรือหดตัวในขณะที่มีการจ้องมองวัตถุเป็นเวลานาน โดยกลุ่มอาการจอภาพคอมพิวเตอร์มีอาการปัญหาทางสายตาหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอาการ ได้แก่ ตาล้า เมื่อยตา ตาแห้ง มองภาพซ้อน มองภาพไม่ชัด ปวดตาหรือน้ำตาไหล ภาพเบลอ ปวดศีรษะ พบว่าความชุกของความล้าสายตาในกลุ่มผู้ใช้งานอุปกรณ์ทางเทคโนโลยี เช่น คอมพิวเตอร์ มือถือ ต่าง ๆ เป็นปัญหาที่พบบ่อยที่สุดในกลุ่มผู้ใช้ร้อยละ 70 [3] นอกจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ปัจจัยสำคัญและส่งผลกระทบโดยตรงต่อคนทำงานคือแสงสว่าง เมื่อใช้งานในบริเวณที่มีแสงสว่างน้อยเกินไปจะทำให้กล้ามเนื้อตาทำงานมากขึ้น มีผลทำให้รู้ม่านตาเปิดมากขึ้นเนื่องจากมองเห็นภาพไม่ชัดเจน จึงต้องเพ่งมองเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการปวดตา มีนัยยะในขณะที่มีแสงสว่างมากเกินไป จะทำให้ผู้ทำงานไม่สบายตา ปวดตา มีนัยยะกล้ามเนื้อหนังตากระตุก ประสิทธิภาพการมองเห็นแย่งและอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุในการทำงาน [4]

ปัจจัยดังกล่าวล้วนเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพตามมาและยังทำให้ประสิทธิภาพการเรียนรู้ลดลงอีกด้วย [5] ทางคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงปัญหาที่เกิดจากการใช้งานแท็บเล็ต มือถือเป็นเวลานานและต่อเนื่องซึ่งส่งผลให้เกิดอาการเมื่อยล้าของสายตา [6] และส่งผลต่อสุขภาพการมองเห็นของผู้ใช้งาน คณะผู้วิจัยจึงเกิดการประชุมและหาแนวทางร่วมเพื่อผลิตนวัตกรรมสำหรับการแก้ปัญหา

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับความสำคัญของแสงและอันตรายของแสงต่อการใช้งานอุปกรณ์เทคโนโลยี มีนักวิชาการได้นำเสนอผลการศึกษาวิจัยไว้ดังนี้

นักวิชาการนำเสนอการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบของระดับการส่องสว่างและอุณหภูมิสีของแสงต่อประสิทธิภาพการเขียนและการพิมพ์ในสำนักงาน พบว่าระดับการส่องสว่างและอุณหภูมิสีของแสงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเขียนและการพิมพ์ [7]

นักวิชาการได้อธิบายอันตรายของแสงสีฟ้าต่อดวงตา ซึ่งในการใช้อุปกรณ์พวกมือถือ แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์มีผลต่อการทำงานของดวงตา เมื่อใช้เป็นเวลานาน จึงมีข้อควรระวังและป้องกันดังนี้[8]

1. ผลของแสงสีฟ้าต่อกระจกตา กระจกตาเป็นส่วนที่สัมผัสกับแสงก่อนส่วนอื่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่อยู่ด้านหน้าสุดของลูกตา การสัมผัสแสงสีฟ้าจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เซลล์ผิวกระจกตา เกิดการอักเสบ และเกิดภาวะตาแห้ง ภาวะตาแห้งก่อให้เกิดการระคายเคืองของดวงตา หากปล่อยทิ้งไว้อาจทำให้ผิวกระจกตาเกิดการอักเสบและเกิดรอยแผลบนกระจกตาได้
2. ผลของแสงสีฟ้าต่อเลนส์แก้วตา แสงสีฟ้าที่ถูกดูดซับบริเวณเลนส์แก้วตาสามารถป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับจอประสาทตาที่อยู่ภายในลูกตา แต่ขณะเดียวกันจะส่งผลทำให้เลนส์แก้วตาเกิดความขุ่นมัวและมีการเปลี่ยนสี แสงสีฟ้าสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระที่บริเวณเซลล์ของเลนส์แก้วตา เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนและเกิดเป็นต่อกระจก สารกลุ่ม carotenoid lutein (L) และ zeaxanthin (Z) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบอยู่บริเวณเลนส์แก้วตา สารดังกล่าวสามารถดูดซับแสงสีฟ้าความยาวคลื่นสั้น จึงสามารถปกป้องโปรตีนและ DNA ของเลนส์แก้วตาจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้
3. ผลของแสงสีฟ้าต่อจอประสาทตา จอประสาทตาเป็นเซลล์รับแสงและเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่รับภาพทำให้เกิดการมองเห็น แสงสีฟ้าที่ผ่านเลนส์แก้วตาไปสู่จอประสาทตาทำให้เกิดการปลดปล่อยโมเลกุลที่เป็นพิษต่อเซลล์รับแสง (phototoxicity) และเกิดความเสียหายต่อจอประสาทตา ได้แก่ ภาวะเสื่อมของจอประสาทตา (macular degeneration) การส่งสัญญาณการมองเห็นไปยังเส้นประสาทตาเกิดการเสื่อมสภาพ มีอาการตามัว มองเห็นไม่ชัดเจน มองเห็นสีเพี้ยน ตาไม่สู้แสง เกิดจุดดำตรงกลางภาพ และอาจทำให้ตาบอดในที่สุด

นอกจากนี้แสงสีฟ้ายังส่งผลกระทบต่อนาฬิกาชีวภาพของมนุษย์ แสงสีฟ้าเป็นแสงที่กระตุ้นให้เกิดความตื่นตัว การรับรู้ และความจำ เนื่องจากแสงสีฟ้ามีผลกระทบทำให้เกิดการหลั่งของสาร melatonin ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเพิ่มหรือลดการแสดงออกของ cortisol ในระหว่างช่วงเวลาต่างๆ ของวันจึงมีผลในการควบคุมนาฬิกาชีวภาพและคุณภาพการนอน การได้รับแสงสีฟ้าที่มากเกินไปโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนซึ่งเป็นช่วงที่ melatonin อยู่ในระดับสูง แสงสีฟ้าจะไปกระตุ้นสมองให้ยับยั้งการหลั่ง melatonin และเพิ่มการสร้าง cortisol ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการนอนหลับ ทำให้นอนไม่หลับหรือหลับไม่สนิท

3.วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างแอปพลิเคชันควบคุมระดับความสว่างแสงและโทนสีของแสงให้เหมาะแก่ผู้ใช้งานในการอ่านหนังสือผ่านเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์
2. เพื่อประเมินคุณภาพของพีเจอาร์ควบคุมระดับความสว่างแสงและโทนสีของแสงในแอปพลิเคชัน
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อแอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO]

4.วิธีการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1.ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนโรงเรียนนครสวรรค์ตั้งแต่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มี 16 ห้องๆละ 40 คน รวม 640 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนโรงเรียนนครสวรรค์ตั้งแต่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 จำนวน 30 คน โดยการใช้การสุ่มอย่างง่าย

2.เครื่องมือที่ใช้วิจัย

2.1 แอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO]

2.2 โปรแกรมสำหรับสร้างแอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO]

2.3 แบบประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันแอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO]

2.4 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อแอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO]

3. การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือ

ผู้จัดทำโครงการดำเนินการสร้างและพัฒนาเครื่องมือตามลำดับดังนี้

การสร้างแอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง[LUMINO] ผู้จัดทำได้ใช้หลักวงจรชีวิตของการพัฒนาซอฟต์แวร์ SDLC ตามขั้นตอนของ [9] มาใช้งานและตัดขั้นตอนบางส่วนออก ตามความเหมาะสม โดยมี ขั้นตอน ดังนี้

1.การวางแผน (Planning)

1.1) ศึกษารูปแบบของซอฟต์แวร์ที่จะใช้ในการสร้างแอปพลิเคชัน

1.2) กำหนดรูปแบบของซอฟต์แวร์ที่จะใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยผู้จัดทำได้เลือกใช้ VS Codeในการพัฒนาตัวแอปพลิเคชันสำหรับ Android

2. การวิเคราะห์ความต้องการ (Analysis)

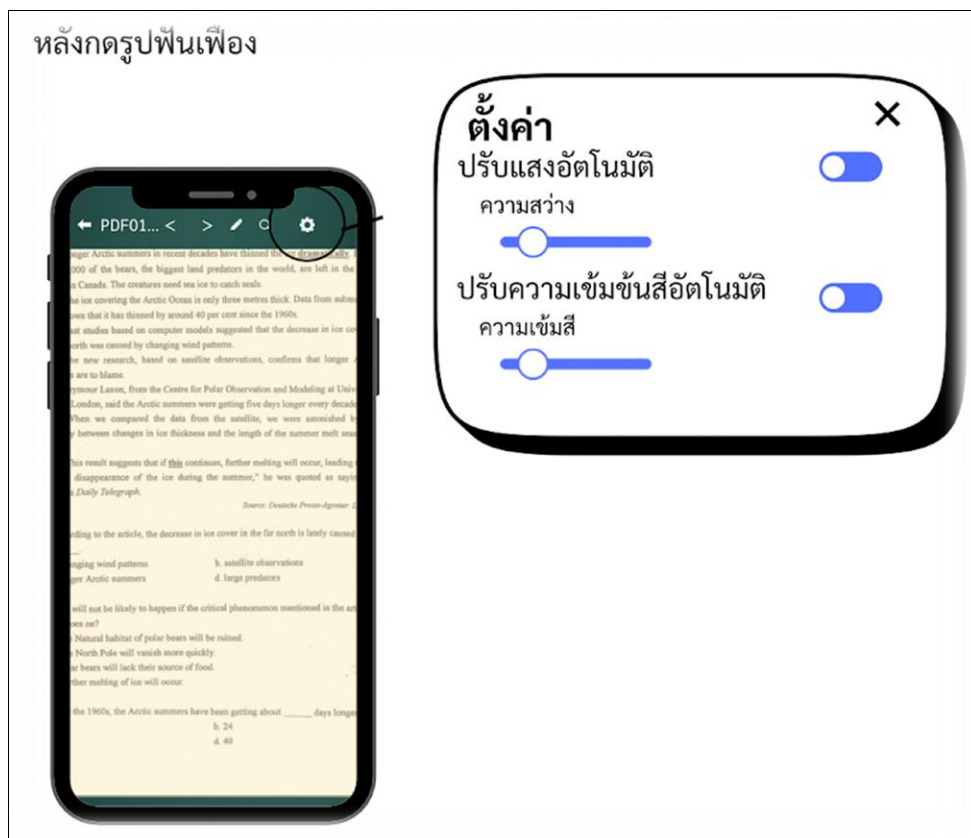
2.1) วิเคราะห์ถึงฟังก์ชันการทำงานต่างๆของตัวแอปพลิเคชัน การใช้นั้นจะมีการช่วยปรับลดแสงสีฟ้าในรูปแบบของแสงโทนอุ่นเป็น function ในการอนอมสายตาอัตโนมัติของแอปพลิเคชัน LUMINO

3.การออกแบบ (Design)

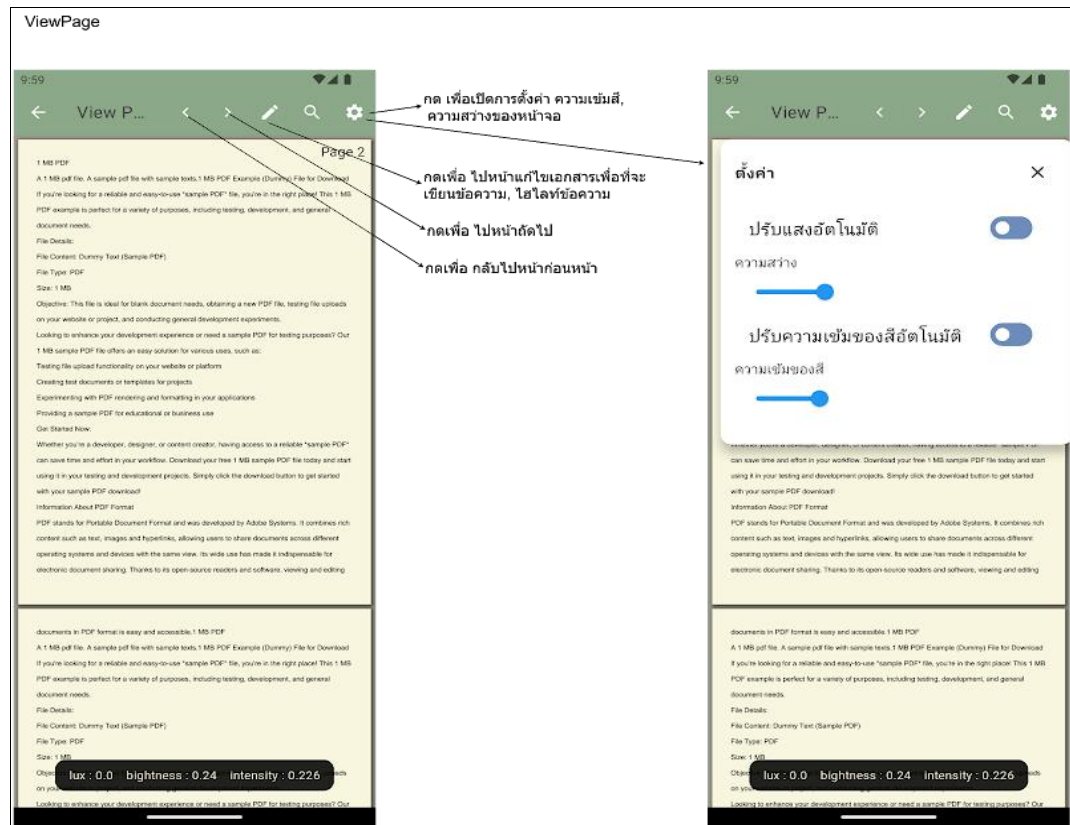
3.1) ออกแบบ UI และ UX ตามหลักต่างๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์ไว้โดยใช้ Canva ในการออกแบบ GUI ส่วนต่างๆของแอปพลิเคชันในส่วนของ Wireframe ดังภาพที่ 1-3



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของการออกแบบ UI และ UX ตามหลักต่างๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์ไว้โดยใช้ Canva ในการออกแบบ GUI ส่วนต่างๆของแอปพลิเคชัน Wireframe



ภาพที่ 2 การออกแบบ UI และ UX ของการตั้งค่า การปรับ ลดแสง ความเข้มสี



ภาพที่ 3 ฟังก์ชัน การกด คำสั่งใช้งานแอปพลิเคชันในการออกแบบ

4. การเขียนโปรแกรม (Development)

4.1) ดำเนินการสร้างแอปพลิเคชันตามทีออกแบบไว้ข้างต้น

4.2) ใช้หลัก Agile ที่เน้นการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ โดยได้ทำการทดลองให้กลุ่มตัวอย่างมาทำ

การประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชัน และนำข้อมูลมาปรับปรุง เพื่อแก้ไข พัฒนา ทดสอบ ตามหลักของ [10] การพัฒนาซอฟต์แวร์ตามแนวคิดแบบ Agile ประกอบด้วย 1) การศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 2) การวางแผนและออกแบบ 3) การพัฒนาซอฟต์แวร์ 4) การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ 5) การปรับปรุงซอฟต์แวร์ 6) การให้ข้อเสนอแนะความคิดเห็น และ 7) การประเมินผลมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการงานการสร้างและพัฒนาแอปพลิเคชันต่อไป

5. นำแอปพลิเคชันที่ทำการพัฒนาขึ้นไปให้ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบการใช้งานโหมดต่างๆและนำมาปรับปรุงแก้ไข ตามคำแนะนำ

6. นำแอปพลิเคชันที่แก้ไขปรับปรุงแล้ว ไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน

ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านแอปพลิเคชันจำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินตามความเหมาะสมโดยใช้แบบประเมิน

7. ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

5.ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์คุณภาพแอปพลิเคชันแอปพลิเคชันอ่านหนังสือถนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO] โดยผู้เชี่ยวชาญด้านแอปพลิเคชันจำนวน 3 คน ผลการประเมินภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ (แปลค่า) คือมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.63 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.51 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพของแอปพลิเคชันแอปพลิเคชันอ่านหนังสือถนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO] โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับคุณภาพ
1.ด้านการออกแบบ	4.53	0.40	มากที่สุด
1.1 ขนาดปุ่มบนจอภาพมีความเหมาะสม	5.00	0.56	มากที่สุด
1.2 สีและขนาดของตัวอักษรบนจอภาพ	4.33	0.57	มาก
1.3 ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมายมีความเหมาะสม	5.00	0.63	มากที่สุด
1.4 การใช้สัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อความหมายมีความเหมาะสม	4.56	0.67	มากที่สุด
1.5 การวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพมีความเหมาะสม	4.00	0.57	มาก
2. ฟังก์ชันการทำงาน	4.80	0.20	มากที่สุด
2.1 ตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.67	0.57	มากที่สุด
2.2 ฟังก์ชันทำงานได้อย่างถูกต้องครบถ้วน	5.00	0.69	มากที่สุด
2.3 การใช้คำสั่งแอปพลิเคชันมีความสะดวก	5.00	0.64	มากที่สุด
2.4 การประมวลผลของแอปพลิเคชันมีความรวดเร็ว	4.67	0.57	มากที่สุด
2.5 แอปพลิเคชันมีความน่าเชื่อถือ	4.68	0.54	มากที่สุด
3.ด้านความเสถียรภาพของแอปพลิเคชัน	4.58	0.33	มากที่สุด
3.1 สามารถกดเลือกใช้ฟีเจอร์ต่างๆ ได้อย่างเสถียร	4.67	0.57	มากที่สุด
3.2 สามารถติดตั้งได้ง่าย	4.00	0.45	มาก
3.3 ความรวดเร็วในการทำงาน	4.67	0.57	มากที่สุด
3.4 การวิเคราะห์แสงที่ใช้ด้วยระบบปรับแสงอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพ	5.00	0.56	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.63	0.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 พบว่า ระดับการประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันอ่านหนังสือถนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO] โดยผู้เชี่ยวชาญด้านแอปพลิเคชัน จำนวน 3 ท่าน โดยค่าเฉลี่ยภาพรวมทั้ง 3 ด้านเท่ากับ มีค่าอยู่ในช่วงหมายถึงแอปพลิเคชันมีคุณภาพระดับ มากที่สุด ซึ่งรายการที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 5.00 ได้แก่ ขนาดของปุ่มฟีเจอร์บนจอภาพมีความเหมาะสม ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมายเหมาะสม ฟังก์ชันทำงานได้อย่างครบถ้วนถูกต้องครบถ้วน การใช้คำสั่งของแอปพลิเคชันมีความสะดวก และการการวิเคราะห์แสงที่ใช้ด้วยระบบปรับแสงอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการออกแบบบนแอป

พลีเคชั่น ประกอบด้วย ความเหมาะสมในการใช้ขนาดปุ่มบนจอภาพ ความเหมาะสมการใช้ สีและขนาดตัวอักษรบนจอภาพ ความเหมาะสมในการใช้ข้อความ เพื่ออธิบายสื่อความหมาย ความเหมาะสมในการใช้สัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อความหมาย และความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุด โดยค่าเฉลี่ยรายด้านเท่ากับ 4.53 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40 ด้านการฟังก์ชันการทำงาน ประกอบด้วย ตรงตามความต้องการของผู้ใช้แอปพลิเคชัน ฟังก์ชันทำงานได้อย่าง ถูกต้องครบถ้วน การใช้คำสั่งของแอปพลิเคชันมีความสะดวก ความเร็วในการประมวลผลของแอปพลิเคชัน และ ความน่าเชื่อถือได้ของแอปพลิเคชัน มีคุณภาพภาพระดับ มากที่สุด โดยด้านฟังก์ชันการทำงาน มีค่าเฉลี่ยรายด้านเท่ากับ 4.80 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.20 ด้านความเสถียรภาพของแอปพลิเคชัน ได้แก่ สามารถกดเลือกใช้ฟีเจอร์ต่างๆได้อย่างเสถียร สามารถติดตั้งได้ง่าย ความรวดเร็วในการทำงาน และการวิเคราะห์แสงที่ใช้ด้วยระบบปรับแสงอัตโนมัติ มีประสิทธิภาพ มีประสิทธิภาพระดับ ดีมาก โดยค่าเฉลี่ยรายด้านเท่ากับ 4.58 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.33 หลังจากทำการพัฒนาแอปพลิเคชันอ่านหนังสือถนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO] และผ่านการหาคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการนำแอปพลิเคชันดังกล่าวไปทำการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน ซึ่งแบบประเมินที่ใช้แบ่งออกเป็น 3 ด้านคือ ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรมด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันการทำงาน ด้านความง่ายต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ในโครงการวิจัยนี้ คือนักเรียนโรงเรียนนครสวรรค์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่5/2 จำนวน 30 คน ผลการประเมินความพึงพอใจภาพรวมแอปพลิเคชันอ่านหนังสือถนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO] มีค่าเฉลี่ยภาพรวมทั้ง 3 ด้านเท่ากับ 4.63 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันอ่านหนังสือถนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO]

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับคุณภาพ
1.ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม	4.41	0.43	มาก
1.1 ข้อมูลที่ได้จากแอปพลิเคชันช่วยแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว	4.57	0.62	มากที่สุด
1.2 แอปพลิเคชันมีความเร็วในการตอบสนองในการใช้งานได้ดี	4.17	0.64	มาก
1.3 แอปพลิเคชันสามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้องตามความเป็นจริง	4.50	0.68	มากที่สุด
2.ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันตามการทำงาน	4.43	0.53	มาก
2.1 การใช้งานคำสั่งต่างๆ ส่วนของเมนูมีความสะดวก	4.42	0.66	มาก
2.2 ข้อมูลที่แอปพลิเคชันมีความเพียงพอต่อการใช้งาน	4.43	0.69	มาก
3.ด้านความง่ายต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.72	0.37	มากที่สุด
3.1 กระบวนการในการติดตั้งวอฟแวร์ง่ายและเหมาะสม	4.70	0.46	มากที่สุด

3.2 โปรแกรมมีการจัดวางรูปแบบโครงร่างของหน้าจอที่ได้ อย่างเหมาะสม	4.73	0.45	มากที่สุด
3.3 แอปพลิเคชันมีรูปแบบการนำเสนอที่ง่ายต่อการทำ ความเข้าใจ	4.74	0.67	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.52	0.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีระดับความพึงพอใจมากที่สุดคือ ด้านความง่ายต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน มีความพึงพอใจระดับมากที่สุดโดยค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.52 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.51 โดยมีระดับความพึงพอใจรายด้านอันดับหนึ่งคือด้านความง่ายต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.72 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.37 รองลงมาคือ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันตามการทำงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53 และอันดับสาม คือ ด้านการตรงความต้องการของผู้ใช้โปรแกรมมีความพึงพอใจระดับมาก โดยค่าเฉลี่ยรายด้านเท่ากับ 4.41 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.43 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในรายละเอียดในแต่ละด้านสรุปผลการประเมินได้ดังต่อไปนี้เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านความง่ายต่อการใช้งานแอปพลิเคชันความง่ายต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน ในส่วนของแอปพลิเคชันมีรูปแบบการนำเสนอที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ มีค่าเฉลี่ย 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67 มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด รองลงมาคือ โปรแกรมมีการจัดวางรูปแบบโครงร่างของหน้าจอที่ได้เหมาะสม มีค่าเฉลี่ย 4.73 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.45 มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด และส่วนกระบวนการในการติดตั้งซอฟต์แวร์ง่ายและเหมาะสมมีค่าเฉลี่ย 4.70 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ตามลำดับ

6.อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

ในการจัดทำงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันอ่านหนังสือถนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO] ได้มีการทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งดำเนินการตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และสามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

1. จากการพัฒนาและออกแบบแอปพลิเคชันอ่านหนังสือถนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง [LUMINO] ได้ทำการนำไปทดลองใช้กับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นนักเรียนโรงเรียนนครสวรรค์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 ในการประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งาน แอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.52 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจ มากที่สุด หมายความว่า ขนาดตัวปุ่มกดมีความ เหมาะสมง่ายต่อการใช้งาน สีที่ใช้เหมาะกับผู้ใช้งาน และกรองแสงสีฟ้า ดูง่ายและไม่ซับซ้อน ขนาดและรูปแบบของตัวหนังสือ มีความเหมาะสมกับตัวผู้ใช้ในด้านการออกแบบของตัวแอปพลิเคชัน เนื่องจากผู้วิจัย ได้ใช้หลักและทฤษฎีต่าง ๆ ในการออกแบบแอปพลิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [10] ที่ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง สุนทรียะแห่งแสงสู่การรังสรรค์นวัตกรรมช่วยผ่อนคลาย ภาวะอาการความเมื่อยล้าของสายตาด้วยการรับรู้จากการมองเห็นในยุคสัญญาณดิจิทัล พบว่า ทำการศึกษาและกลั่นกรองผลของการศึกษาวิจัยในทุกองค์ประกอบ ทำให้ผู้วิจัยทราบว่า การออกแบบนวัตกรรมสุนทรียะของแสงต้นแบบที่สร้างขึ้น สามารถช่วยผ่อนคลาย อาการเมื่อยล้าของสายตา (Visual Fatigue) ภายใต้ระบบบังตาจากผลกระทบที่อันเกิดขึ้นกับ สุขภาพดวงตาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน และได้รับความพึงพอใจจากผู้ทดสอบกลุ่ม ตัวอย่างในเกณฑ์ระดับมาก

2. จากการพัฒนาตัวต้นแบบที่ใช้ร่วมกับแอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนิเมะโดยใช้หลักการโทนัสของแสง [LUMINO] ตัวต้นแบบนั้น มีข้อที่ผ่านการประเมินคุณภาพ เรื่องความรวดเร็วในการทำงาน อยู่ที่ 4.00 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำและเห็นได้ชัดจากในทุก ๆ ด้าน เนื่องจากอุปกรณ์มีการติดต่อกับอินเทอร์เน็ตอยู่ตลอดเวลา ทำให้อินเทอร์เน็ต มีผลต่อความรวดเร็วในการทำงานและเกิดความล่าช้าของการทำงาน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาแอปพลิเคชันในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ [11] ในการจัดการปัญหาและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงวัยเด็ก เพราะเมื่อผู้ใช้งานวัยเด็กเติบโตขึ้นเป็นผู้ใหญ่จะได้ใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้ได้อย่างถูกต้อง และลดการเกิดอันตราย ซึ่งมีผลต่อคำรึกษาด้านสุขภาพในระยะยาวเพื่อหาแนวทางการป้องกันและแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณครูที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำปรึกษา และโรงเรียนนครสวรรค์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนการจัดทำวิจัยตลอดจนเป็นแหล่งข้อมูลในการศึกษา ทดลองใช้และได้ผลการศึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะของงานวิจัยจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] Molea and Nastasa. (2020). How Romanian higher education institutions have adapted to online learning process in the COVID-19 context through a student's eye. *Revista\Romaneasca pentru Educatie Multidimensionala*, 12(2Sup1), 175-181. <https://doi.org/10.18662/rrem/12.2Sup1/304>
- [2] อัจฉริยา วงษ์อินทร์จันทร์ และคณะ. (2565). ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้สื่อออนไลน์กับปัญหาสุขภาพของครอบครัวของเด็กวัยรุ่นในยุคนี้อยู่ไทยแลนด์ 4.0, *วารสารพยาบาลสงขลานครินทร์*, 42(1), 61-72. <https://Documents/Downloads/256422-Atchariya-Upload.pdf>
- [3] ทิศมะลี ประสบกิตติคุณ และสุรสิงห์ สมบัติ สุรนารณ์วงศ์. (2567). ผลของการใช้โปรแกรมส่งเสริมสุขภาพโดยการบริหารสายตาต่อความล่าช้าของสายตาในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องคอมพิวเตอร์, *วารสารโรงพยาบาลนครพนม*. 11(2), 1-22. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/nkjournal_9/article/view/273245
- [4] วาสนา พาวิน. (2560). ตาล้าและความเข้มของแสงสว่างสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในเด็กวัยรุ่นตอนต้น. *ดุษฎีนิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*. https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:141831
- [5] อำพร ศรียาภัย และคณะ. (2566). ผลกระทบของพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์การเรียนออนไลน์ในช่วงแพร่ระบาดของโควิด-19 ต่อปัญหาทางตาของผู้เรียนระดับปริญญาตรี, *วารสารสุขภาพและการศึกษาพยาบาล*, 29(2), 1-18. <https://he02.tcithaijo.org/index.php/Jolbcnm/article/view/>
- [6] Jing Yang, et al. (2022). Advances in biomedical study of the myopia-related signaling pathways and mechanisms, *Biomedicine & Pharmacotherapy, Biomedicine & Pharmacotherapy*, 145 (112472). <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112472>

-
- [7] ณัฐรินทร์ วิรัชสยงค์กุล. (2557). ผลกระทบของระดับการส่องสว่างและอุณหภูมิสีของแสงต่อประสิทธิภาพการเขียนและการพิมพ์ในสำนักงาน. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.
- [8] Zhao ZH, Zhou Y, Tan G, Li J. (2018). Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes, *PubMed Disclaimer*, 11(12), 1999-2003. <https://nkc.org/digital-eye-strain-know-2020-rule/>
- [9] จิราพัชร กันหา. (ม.ป.ป.). [ออนไลน์]. (2569, 14 มีนาคม). หลักการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม. <https://sites.google.com/site/jjiraphatkanha/wngcr-chiwit-khxng-kar-phathna-sxftw>
- [10] ปรางทอง ชังธรรม. (2565). สุนทรียะแห่งแสงสู่การรังสรรค์นวัตกรรมช่วยผ่อนคลายภาวะอาการความเมื่อยล้าของสายตาด้วยการรับรู้จากการมองเห็นในยุคสัญญาณดิจิทัล. หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. <https://explore.nrct.go.th/>
- [11] นภารัตน์ ชูไพร สุภาณี เส็งศรี และกอบสุข คงมนัส. (2568). การสอนการพัฒนาซอฟต์แวร์ตามแนวคิดแบบ Agile, *วารสารครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์*, 2(1), 1-11. <https://so07.tci-thaijo.org/index.php/VRUJ/article/view/3862>

การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษา
กลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์

DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATION FOR COLLECTING PHYSICAL FITNESS
TEST DATA: A CASE STUDY OF HEALTH DEPARTMENT OF BUSINESS
ADMINISTRATION AND LIBERAL ARTS

วรการ ใจดี¹ นรินทร์ จิวิตัน^{*1}

Worakarn Jaidee¹, Narin Jiwiton^{*1}

^{*1}คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

^{*1}Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology
Lanna Chiang Mai, 50300, Thailand

^{*} E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): narin@rmutl.ac.th

วันที่รับบทความ 5 ธันวาคม 2568 วันที่แก้ไขบทความ 18 มีนาคม 2569 วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษากลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 2) ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน 3) ประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชัน ในการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันใช้ Flutter Framework และภาษา Dart เป็นเทคโนโลยีและภาษาหลักในการพัฒนา โดยผู้ใช้ระบบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ 1) ผู้ดูแลระบบ มีหน้าที่ในการเพิ่ม ลบ แก้ไข กำหนดสิทธิ์ข้อมูลผู้ใช้งาน และ 2) ผู้ใช้งาน มีหน้าที่ในการเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลผู้ทดสอบสมรรถภาพ, บันทึก แก้ไข ข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพ โดยโมบายแอปพลิเคชันมีส่วนการติดต่อผู้ใช้งานที่สะดวก สามารถเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ของระบบได้ง่ายและรวดเร็ว เมื่อนำแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกายไปทดลองใช้งานจริง และทำการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญ และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่า ค่าโดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.28$, S.D. = 0.57) และ มากที่สุด ($\bar{X} = 4.60$, S.D. = 0.71) ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกายสามารถนำไปใช้ในการจัดเก็บข้อมูลสมรรถภาพทางกายของบุคลากร นักศึกษา นักเรียน บุคคลทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดขั้นตอนการทำงานในการบันทึก แก้ไข ข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน และสามารถตรวจสอบข้อมูลได้

คำสำคัญ: โมบายแอปพลิเคชัน; ระบบสารสนเทศ; ระบบจัดการฐานข้อมูล

ABSTRACT

This research aims to 1) develop a mobile application for storing physical fitness testing data, a case study of the Health Department, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna, 2) evaluate the efficiency of the application, and 3) evaluate user satisfaction with the application. The mobile application development uses the Flutter framework and Dart programming language as the main technologies. The system users are divided into two groups: 1) administrators are responsible for adding, deleting, editing, and setting user data permissions; and 2) users are responsible for adding, deleting, and editing physical fitness tester data, as well as recording and editing physical fitness testing data. The mobile application has a convenient user interface and allows easy and fast access to various system data. When the application for storing physical fitness test data was tested in real use and its efficiency was evaluated by experts, the evaluation found that the efficiency and user satisfaction dimensions were at a high level ($\bar{X} = 4.28$, S.D. = 0.57) and the highest level ($\bar{X} = 4.60$, S.D. = 0.71), respectively. This showed that the application can be used to efficiently store the physical fitness data of personnel, pupils, students, and the general public. It can also reduce the steps in recording and updating data, and allows for data verification.

Keywords: Mobile Application; Information System; Database Management System

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบสุขภาพของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการส่งเสริมสุขภาพเชิงรุก การดูแลสุขภาพด้วยตนเอง และการเฝ้าระวังภาวะเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคไขมันในเลือดสูง เป็นต้น ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในประเทศไทยและทั่วโลก หนึ่งในวิธีที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในการติดตามสุขภาพเบื้องต้นคือ การทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness Testing) ซึ่งสามารถใช้ประเมินความสามารถทางร่างกายได้ในหลากหลายมิติ เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความทนทานของระบบไหลเวียนเลือด ความยืดหยุ่นของร่างกาย และองค์ประกอบของมวลกาย เป็นต้น โดยผลจากการประเมินดังกล่าวสามารถนำมาใช้วางแผนการออกกำลังกายที่เหมาะสม รวมถึงใช้ติดตามพัฒนาการของสุขภาพร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1]

การทดสอบสมรรถภาพทางกายเป็นกระบวนการสำคัญในการประเมินสุขภาพและความพร้อมทางร่างกายเบื้องต้นของบุคคล โดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียน นักศึกษา กลุ่มคนทำงาน หรือบุคคลทั่วไปที่ต้องการติดตามพัฒนาการด้านสุขภาพ การจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมรรถภาพทางกายอย่างเป็นระบบจึงมีความจำเป็น เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวางแผนดูแลสุขภาพและพัฒนาศักยภาพทางกายอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันกระบวนการจัดเก็บข้อมูลมักยังคงใช้รูปแบบเอกสารหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป ซึ่งอาจเกิดข้อผิดพลาด และไม่สะดวกต่อการใช้งานภาคสนาม [2]

กลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ได้มีการเรียนการสอน ในรายวิชาพลศึกษา และให้บริการวิชาการด้านการทดสอบสมรรถภาพทางกายภาพให้กับชุมชน สถานศึกษา หรือผู้ที่สนใจ โดยมีการจัดเก็บข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพเป็นเอกสาร และบันทึกข้อมูลในโปรแกรมตาราง คำนวณบ้างเป็นบางครั้ง เพื่อนำข้อมูลมาจัดทำรายงานหรือสรุปข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งการดำเนินงานในปัจจุบันเกิด ข้อผิดพลาดได้ง่าย ทำให้ข้อมูลสูญหาย ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนระหว่างการบันทึก ซึ่งส่งผลให้การทำงานไม่มี ประสิทธิภาพ ข้อมูลไม่ถูกต้อง จึงได้มีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทาง กาย แต่เนื่องด้วยเว็บแอปพลิเคชันไม่สามารถแสดงผลหรือทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ และไม่ สะดวกต่อการใช้งานภาคสนาม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการต่อยอดจากระบบเดิมที่พัฒนาด้วยรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ด้วยภาษา HTML, CSS, JavaScript, PHP และฐานข้อมูล MySQL

ปัจจุบันเป็นยุคของการนำดิจิทัลมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เทคโนโลยีโมบายแอปพลิเคชัน (Mobile Applications) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการเก็บข้อมูลในหลากหลายด้าน รวมถึงด้านสุขภาพและการกีฬา แอปพลิเคชันสามารถเพิ่มความสะดวกในการบันทึกข้อมูล การประมวลผล และการ แสดงผลอย่างเป็นระบบ ช่วยลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน และเพิ่มความแม่นยำในการเก็บข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตได้ทุกที่ทุกเวลา [3] จากการศึกษาปัญหาการดำเนินงานจัดเก็บ ข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกายบุคลากร นักเรียน นักศึกษา คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ข้างต้นนั้น ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูล ทดสอบสมรรถภาพทางกาย โดยใช้เทคโนโลยี Flutter Framework และภาษา Dart ที่สามารถพัฒนาแอปพลิเคชัน ได้ทั้งระบบปฏิบัติการ iOS และ Android มีความรวดเร็วในการทำงาน [4] ผู้ใช้งานสามารถทำงานผ่านอุปกรณ์ Smart Mobile ได้ทุกระบบ โดยแอปพลิเคชันนี้สามารถใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา ลดขั้นตอนการทำงาน และสร้าง ความสะดวกในการบันทึกข้อมูล ลดความผิดพลาดของข้อมูล รวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ใน ปัจจุบันจะมีแอปพลิเคชันด้านสุขภาพและการจัดเก็บข้อมูลอยู่เป็นจำนวนมาก แต่จุดเด่นและความแตกต่างที่สำคัญ ของโมบายแอปพลิเคชันในงานวิจัยนี้ คือการออกแบบระบบที่ปรับแต่งมาโดยเฉพาะ ให้สอดคล้องกับบริบทการ ทำงาน และเกณฑ์การทดสอบสมรรถภาพทางกายของกลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ซึ่งแอปพลิเคชันทั่วไปในท้องตลาดไม่ได้ถูกออกแบบมารองรับการเก็บ ข้อมูลภาคสนามแบบกลุ่มจำนวนมาก การจัดการสิทธิ์ผู้ใช้งานที่ซับซ้อน (ผู้ดูแลระบบ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่) รวมถึงไม่สามารถปรับแก้เกณฑ์การทดสอบที่ใช้เฉพาะในรายวิชาและการบริการวิชาการของคณะได้ การพัฒนาแอปพลิเคชันนี้จึงเป็นการแก้ปัญหาที่ตรงจุด สร้างฐานข้อมูลด้านสุขภาพที่เป็นเอกภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ บริบทการศึกษาได้อย่างเป็นรูปธรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการ จัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย บุคลากร นักเรียน นักศึกษา คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา รวมถึงสามารถนำไปใช้ในการบริการวิชาการให้กับชุมชน โรงเรียนที่สนใจ โดยโมบายแอปพลิเคชันมีการตรวจสอบประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน และประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชัน เพื่อยืนยันผลการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วศิน และคณะ [5] ได้ให้นิยามของเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งประกอบด้วย เทคโนโลยี หมายถึง การนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มาพัฒนาเป็นองค์ความรู้ใหม่ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเทคโนโลยีที่นำมาใช้จัดการสารสนเทศต่าง ๆ เหล่านี้ อาจเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีทางการสื่อสารและโทรคมนาคม เป็นต้น เมื่อนำเอาคำว่า เทคโนโลยี และ สารสนเทศ รวมเข้าไว้ด้วยกันแล้ว อาจสรุปความหมายโดยรวมได้ว่า เทคโนโลยีสารสนเทศ หรือ ไอที (IT: Information Technology) คือ การประยุกต์เอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ มาจัดการสารสนเทศที่ต้องการ โดยอาศัยเครื่องมือทางเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น เทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีด้านเครือข่ายโทรคมนาคมและการสื่อสาร ตลอดจนอาศัยความรู้ในกระบวนการดำเนินงานสารสนเทศในขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การแสวงหา การวิเคราะห์ การจัดเก็บ รวมถึงการจัดการเผยแพร่และแลกเปลี่ยนสารสนเทศด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความถูกต้อง ความแม่นยำ และความรวดเร็วทันต่อการนำมาใช้ประโยชน์ได้นั่นเอง การแสวงหา การวิเคราะห์ และการจัดเก็บข้อมูล จำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและแม่นยำ ในทำนองเดียวกันเทคโนโลยีทางด้านเครือข่ายการสื่อสารและโทรคมนาคม ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เผยแพร่และแลกเปลี่ยนสารสนเทศได้ทั่วถึงมากยิ่งขึ้น

Flutter Framework [4] เป็น Framework สำหรับการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันแบบครอสแพลตฟอร์ม พัฒนาโดยบริษัท Google ซึ่งเป็นระบบรหัสเปิด และมีความสามารถในการสร้าง User Interface (UI) ที่สวยงามและสมบูรณ์ในแพลตฟอร์มต่างๆ พร้อมกับประสิทธิภาพที่ดี Flutter Framework ใช้ภาษา Dart เป็นภาษาหลักในการพัฒนา และมีชุดคำสั่งและเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการสร้างและจัดการ UI อย่างง่าย รูปแบบของ Flutter Framework ทำให้เราสามารถสร้าง UI ได้ด้วยการเขียนโค้ดด้วยภาษาเดียว (Single Codebase) และสามารถนำไปใช้ได้ในระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน เช่น Android, iOS, Web Application และหนึ่งในความสำคัญของ Flutter Framework คือ Hot Reload ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ช่วยให้นักพัฒนาระบบ สามารถดูผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงของโค้ดได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องรีสตาร์ทแอปพลิเคชัน ซึ่งช่วยลดเวลาขั้นตอนในการพัฒนาและทดสอบแอปพลิเคชันอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Flutter Framework ยังมีชุดคอมโพเนนต์ที่ทันสมัยและหลากหลายให้ใช้งานเรียกว่า วิดเจ็ต (Widget) การเชื่อมต่อกับเว็บเอพีไอ (API) การจัดการสถานะแอปพลิเคชัน และอื่นๆ ที่สามารถเพิ่มความสมบูรณ์และความสามารถให้กับแอปพลิเคชันของเราได้

นรเทพ และคณะ [6] ได้พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บค่าธรรมเนียมขยะ กรณีศึกษาของค์การบริหารส่วนตำบลละงู อำเภอละงู จังหวัดสตูล งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บค่าธรรมเนียมขยะ กรณีศึกษาของค์การบริหารส่วนตำบลละงู อำเภอละงู จังหวัดสตูล ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน และประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชัน ในการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้ Flutter Framework และภาษา Dart เป็นเทคโนโลยีหลักในการพัฒนา ผู้ใช้ระบบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ มีสิทธิ์ในการเพิ่มสมาชิก แก้ไขข้อมูล และการกำหนดสิทธิ์สมาชิก และสมาชิก สามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลผู้ใช้บริการแอปพลิเคชันได้บนระบบปฏิบัติการ Android มีส่วนการติดต่อผู้ใช้งานที่สะดวก เข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ได้ง่ายและรวดเร็ว เมื่อนำระบบแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บค่าธรรมเนียมขยะมาทดลองใช้งาน แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการค่าธรรมเนียมขยะสามารถนำไปใช้ในการจัดการค่าธรรมเนียมขยะในพื้นที่ อบต. ละงู ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดขั้นตอนการทำงาน สะดวกในการบันทึกข้อมูล อัปเดตข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน และสามารถตรวจสอบข้อมูลได้

นลินี และคณะ [7] ได้พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสั่งซื้อก๊าซหุงต้ม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสั่งซื้อก๊าซหุงต้มและประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้น แอปพลิเคชันนี้พัฒนาในรูปแบบ Cross-platform ด้วยภาษา Dart ร่วมกับ เฟรมเวิร์ก Flutter และจัดเก็บข้อมูลในระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL มีการรับส่งข้อมูลจากโมบายแอปพลิเคชันไปยังเซิร์ฟเวอร์ผ่าน RESTful APIs ที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษา PHP ร่วมกับเฟรมเวิร์ก Slim โดยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถอำนวยความสะดวกให้ลูกค้าสามารถทำรายการสั่งซื้อก๊าซหุงต้มและติดตามการจัดส่งก๊าซของพนักงานได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่

เวหา และ สุวรรณิ [8] ได้พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการเลือกมัคคุเทศก์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันในการเลือกมัคคุเทศก์และประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน ใช้วิธีการศึกษาตามหลักการของวงจรชีวิตในการพัฒนาซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ผลการศึกษาปัญหาของนักท่องเที่ยว ไม่สามารถเลือกมัคคุเทศก์ตามที่ต้องการ ศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค ด้านการปฏิบัติงานและด้านกฎหมาย ความต้องการนักท่องเที่ยว อยากได้ระบบที่หามัคคุเทศก์ที่ตนเองชอบ และเป็นมัคคุเทศก์ที่ถูกกฎหมาย การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน โดยใช้ภาษา Dart และ Flutter Framework ประกอบด้วย การลงทะเบียน การยืนยันตัวตน เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติและยืนยันสถานะของมัคคุเทศก์ เมื่อนำระบบไปใช้งานจริงระบบสามารถแนะนำมัคคุเทศก์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คอลิด และคณะ [9] ได้พัฒนาแอปพลิเคชันการคัดกรองสุขภาพสำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ในเขตพื้นที่จังหวัดของภาคใต้ การวิจัยและพัฒนานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันการคัดกรองสุขภาพสำหรับอาสาสมัครสาธารณสุข ประจำหมู่บ้านในเขตพื้นที่จังหวัดของภาคใต้ และประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันการคัดกรองสุขภาพและความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันการคัดกรองสุขภาพของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านในเขตพื้นที่ 4 จังหวัดของภาคใต้ ผลการวิจัยจากการนำแอปพลิเคชันไปใช้งานจริง ได้แอปพลิเคชันการคัดกรองสุขภาพที่มีประสิทธิภาพ สามารถคัดกรองสุขภาพโดยอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านในภาพรวมอยู่ในระดับมาก และความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันการคัดกรองสุขภาพในภาพรวมอยู่ในระดับมาก

สรญา และคณะ [10] ได้พัฒนาแอปพลิเคชันระบุตำแหน่งสำหรับครอบครัว ด้วยวงจรการพัฒนาโปรแกรม โดยการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันระบุตำแหน่งสำหรับครอบครัว โดยใช้วงจรการพัฒนาโปรแกรม (Program Development Life Cycle) 2) ประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชัน 3) สำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ และ 4) วิเคราะห์โมเดลธุรกิจโดยใช้เครื่องมือ Business Model Canvas กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีดิจิทัลจำนวน 3 ท่าน และกลุ่มผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน 30 คน ซึ่งสุ่มแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลคือแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น โดยประเมินคุณภาพซอฟต์แวร์ตามมาตรฐาน ISO/IEC 25010 แบบสอบถามความพึงพอใจ และแบบวิเคราะห์โมเดลธุรกิจ ผลการวิจัยพบว่า 1) แอปพลิเคชันระบุตำแหน่งสำหรับครอบครัวที่พัฒนาขึ้นด้วย Flutter Framework บน Android Studio สำหรับใช้งานบนสมาร์ตโฟนระบบ Android 2) คุณภาพของแอปพลิเคชันได้รับการประเมินอยู่ในระดับดีเยี่ยม 3) ความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันอยู่ในระดับมากที่สุด โดยเฉพาะด้านการออกแบบและการใช้งานที่สะดวกสบาย การตอบสนองที่รวดเร็วและข้อมูลที่ถูกต้อง 4) การวิเคราะห์โมเดลธุรกิจตาม Business Model Canvas พบว่า Value Propositions คือ ราคาที่เหมาะสมและความสะดวก ในการใช้งาน ส่วน Customer Segment ได้แก่ ผู้ปกครองนักเรียนระดับอนุบาล-มัธยมศึกษา Channels ที่ใช้ได้แก่ Facebook, Website และ Google Ads Key Partners

ได้แก่ Play Store, Google และร้านขายเครื่องเขียน ส่วนแหล่งรายได้มาจากการดาวน์โหลดและอัปเดตแอปพลิเคชัน

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น สามารถสังเคราะห์เป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยได้ 2 ประเด็นหลัก ได้แก่

ประการแรก ด้านเทคโนโลยีการพัฒนา งานวิจัยล่าสุดในปัจจุบันต่างมุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยี Cross-platform อย่าง Flutter Framework และภาษา Dart ในการพัฒนาระบบ โดยงานวิจัยของ นสินี และคณะ [7] เวหา และ สุวรรณ [8] สรญา และคณะ [10] ได้ยืนยันว่ามีจุดเด่นด้านประสิทธิภาพที่รวดเร็ว การเขียนโค้ดชุดเดียวแต่รองรับได้หลายระบบปฏิบัติการ และทำให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับสูง

ประการที่สอง ด้านการประยุกต์ใช้ในงานภาคสนามและสุขภาพ การนำโมบายแอปพลิเคชันมาใช้จัดเก็บข้อมูลและการคัดกรองสุขภาพ โดยงานวิจัยของ นรเทพ และคณะ [6] คอลิด และคณะ [9] ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถยกระดับประสิทธิภาพการทำงานของเจ้าหน้าที่ ลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน และทำให้ข้อมูลมีความเป็นปัจจุบันและตรวจสอบได้

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำข้อค้นพบจากงานวิจัยเหล่านี้มาเป็นกรอบแนวคิด (Conceptual Framework) ในการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ โดยเลือกใช้ Flutter Framework เพื่อให้แอปพลิเคชันจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย สามารถตอบสนองการทำงานภาคสนามของกลุ่มวิชาสุขภาพได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพสูงสุด

3. วิธีการวิจัย

การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษากลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นงานวิจัยเชิงพัฒนา (Research & Development) วิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ ศึกษาความเป็นไปได้และการวิเคราะห์ความต้องการของระบบ การออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ การทดสอบระบบ และการประเมินผลระบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 ศึกษาความเป็นไปได้และการวิเคราะห์ความต้องการของระบบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมความต้องการของระบบจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจากอาจารย์กลุ่มวิชาสุขภาพ โดยวิธีการสัมภาษณ์ พบว่าต้องการความต้องการในส่วนขอโมบายแอปพลิเคชันที่ต่อยอดจากการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันมีดังนี้

ผู้ใช้ (อาจารย์) สามารถดำเนินงานดังนี้

- (1) เข้าสู่ระบบโดยใช้ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน
- (2) เรียกดูข้อมูล สถานที่/กิจกรรมทดสอบสมรรถภาพทางกายได้
- (3) เรียกดูข้อมูลผู้ทดสอบสมรรถภาพทางกายในแต่ละกิจกรรมได้
- (4) จัดการข้อมูลผู้ทดสอบสมรรถภาพทางกายในแต่ละกิจกรรม
- (5) บันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายของผู้ทดสอบ
- (6) เรียกดูข้อมูลผลการทดสอบและคำแนะนำ
- (7) ออกจากระบบ

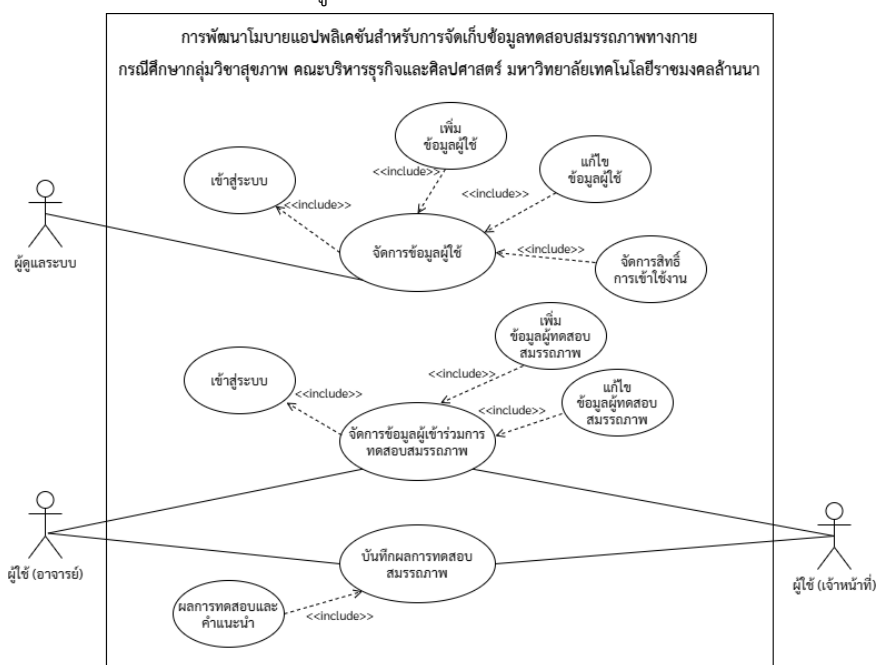
ผู้ใช้ (เจ้าหน้าที่) สามารถดำเนินงานดังนี้

- (1) เข้าสู่ระบบโดยใช้ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน
- (2) เรียกดูข้อมูล สถานที่/กิจกรรมทดสอบสมรรถภาพทางกายได้
- (3) เรียกดูข้อมูลผู้ทดสอบสมรรถภาพทางกายในแต่ละกิจกรรมได้
- (4) จัดการข้อมูลผู้ทดสอบสมรรถภาพทางกายในแต่ละกิจกรรม
- (5) บันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายของผู้ทดสอบ
- (6) เรียกดูข้อมูลผลการทดสอบและคำแนะนำ
- (7) ออกจากระบบ

ผู้ดูแลระบบ สามารถดำเนินงานดังนี้

- (1) เข้าสู่ระบบโดยใช้ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน
- (2) เรียกดูข้อมูลผู้ใช้ในระบบได้
- (3) จัดการข้อมูลผู้ใช้
- (4) จัดการสิทธิ์การใช้งาน
- (5) ออกจากระบบ

ภาพรวมของการทำงานของระบบแสดงในยูสเคสไดอะแกรม ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ยูสเคสไดอะแกรมของโมบายแอปพลิเคชัน

1.2 การออกแบบระบบ ขั้นตอนนี้เป็นกรออกแบบระบบให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้วิเคราะห์ไว้ โดยให้สอดคล้องกับสถาปัตยกรรมเดิมของเว็บแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาและใช้งานมาก่อนหน้านี้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.2.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ ผู้วิจัยได้ออกแบบสถาปัตยกรรมระบบให้มีรูปแบบการเข้าใช้งานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้โปรแกรม Apache HTTP Server สำหรับเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยแบ่งการ

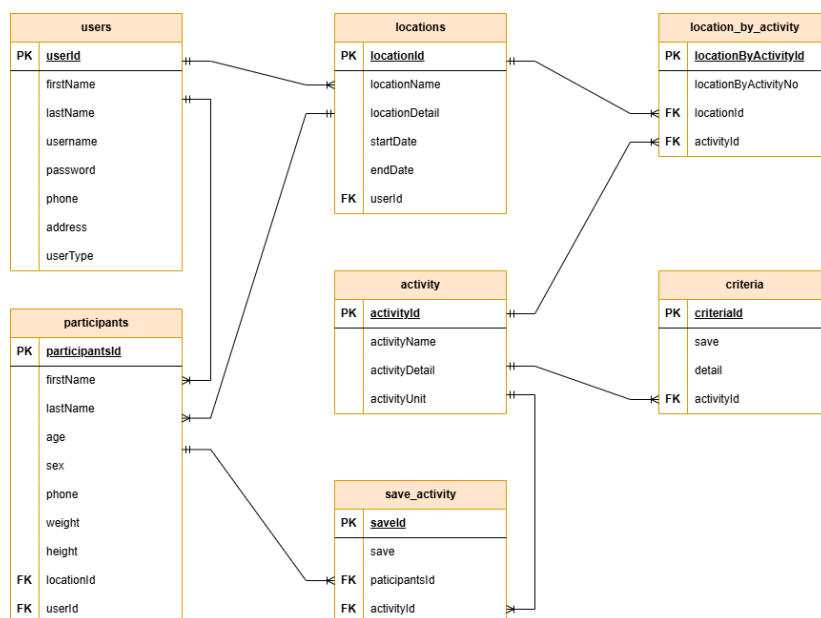
พัฒนาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนหน้าบ้าน (front-end) พัฒนาด้วย Flutter Framework เพื่อสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) โมบายแอปพลิเคชันที่ผู้ใช้สามารถมองเห็นข้อมูลและสามารถปฏิสัมพันธ์กับแต่ละวิดเจ็ต (Widget) บนหน้าจอได้ รวมถึงแพ็คเกจ HTTP ในการติดต่อรับส่งข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันกับเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ HTTP methods เช่น GET, POST, PUT, DELETE เพื่อดำเนินการตามคำขอของผู้ใช้และปรับเปลี่ยนสถานะของข้อมูลบน หน้าจอ และ 2) ส่วนหลังบ้าน (back-end) ที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ใช้ภาษา PHP ในการพัฒนา RESTful APIs เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการรับและส่งข้อมูลระหว่างส่วนหน้าบ้านและหลังบ้าน วิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโมบายแอปพลิเคชันกับเซิร์ฟเวอร์ (Server) จะใช้ข้อมูลประเภท JSON (JavaScript Object Notation) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันและเซิร์ฟเวอร์ตามข้อกำหนดของ JavaScript ซึ่งนิยมใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างฝั่งเซิร์ฟเวอร์กับฝั่งไคลเอนต์

สถาปัตยกรรมของระบบนี้ถูกออกแบบภายใต้โครงสร้างแบบ Client-Server Architecture โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก (3-Tier Architecture) ได้แก่ ส่วนแสดงผล (Presentation Tier) คือโมบายแอปพลิเคชัน (Client) ที่ทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งาน ส่วนประมวลผล (Application Tier) คือ Web Server (PHP RESTful APIs) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับ-ส่งคำขอ (Request) และส่วนจัดการข้อมูล (Data Tier) คือ ฐานข้อมูล MySQL ในส่วนของการไหลของข้อมูล (Data Flow) เมื่อผู้ใช้งานทำรายการผ่านแอปพลิเคชัน (Client) ระบบจะส่งคำขอผ่าน HTTP Request ไปยัง RESTful APIs (Server) จากนั้น Server จะทำการตรวจสอบคำขอประมวลผลร่วมกับฐานข้อมูล MySQL และส่งผลลัพธ์กลับมาถึงแอปพลิเคชันในรูปแบบของ HTTP Response (JSON) เพื่อแสดงผลบนหน้าจอ สถาปัตยกรรมระบบภาพรวมแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมโมบายแอปพลิเคชัน

1.2.2 การออกแบบฐานข้อมูล โมบายแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นได้มีการจัดเก็บข้อมูลในระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ซึ่งเป็นฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ฐานข้อมูลจากสถาปัตยกรรมเดิมจากเว็บแอปพลิเคชัน โดยแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 อีอาร์ไดอะแกรมของโมบายแอปพลิเคชัน

1.2.3 การรักษาความปลอดภัยและการกำหนดสิทธิ์การใช้งาน ในการพัฒนาระบบ ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของข้อมูล (Security) โดยเฉพาะข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลการเข้าระบบ ในส่วนของการจัดเก็บข้อมูล รหัสผ่านของผู้ใช้งาน (Password) ในตารางผู้ใช้ (users) จะไม่ถูกจัดเก็บในรูปแบบข้อความธรรมดา แต่จะผ่านกระบวนการเข้ารหัสทางเดียว (One-way Hash Function) เช่น การใช้ฟังก์ชันเข้ารหัส SHA-256 ก่อนบันทึกลงฐานข้อมูล เพื่อป้องกันการถูกโจรกรรมหรือการเข้าถึงข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต สำหรับการควบคุมการเข้าถึงข้อมูล (Access Control) ระบบได้ประยุกต์ใช้แนวคิดการควบคุมการเข้าถึงตามบทบาทหน้าที่ (Role-Based Access Control: RBAC) โดยอ้างอิงจากฟิลด์ userType ในตารางผู้ใช้ เพื่อแยกสิทธิ์การใช้งานออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ โดยในทุก ๆ การเรียกใช้งานจากโมบายแอปพลิเคชัน เซิร์ฟเวอร์จะทำการตรวจสอบ Session ร่วมกับสิทธิ์ เพื่อคัดกรองการเข้าถึงข้อมูลและเมนูการใช้งาน ตัวอย่างเช่น เมนูการจัดการข้อมูลผู้ใช้และการกำหนดสิทธิ์ จะถูกจำกัดให้เข้าถึงได้เฉพาะผู้ใช้งานที่มีสถานะเป็นผู้ดูแลระบบเท่านั้น เป็นการป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งานกลุ่มอื่นเข้าถึงหรือแก้ไขข้อมูลที่อยู่นอกเหนือสิทธิ์ของตนเอง

1.3 การพัฒนาระบบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันตามการออกแบบที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 2 โดยใช้ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL และในส่วนของโมบายแอปพลิเคชันใช้ Flutter Framework ใช้ภาษาคอมไพเลอร์ที่มีชื่อว่าภาษา Dart เป็นภาษาหลักในการพัฒนา โดยโครงสร้างการทำงานของ Flutter จะแสดงผลส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (UI) ด้วยวิดเจ็ต (Widget) ที่หลากหลาย โดยรูปแบบวิดเจ็ตการแสดงผลจะมี 2 ประเภทคือ Stateless Widget คือวิดเจ็ตที่ไม่มีสถานะ และ Stateful Widget คือวิดเจ็ตที่สามารถเปลี่ยนแปลงสถานะได้ สามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลผ่านปลั๊กอิน (Plugin) และแพ็คเกจ (Package) มีการทำงานแบบ Asynchronous ด้วยคำสั่ง async และ await () และยังมีส่วนของ Hot Reload ที่จะช่วยให้ผู้พัฒนาระบบมองเห็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างการพัฒนาได้อย่างรวดเร็ว (Flutter Framework, 2022)

1.4 การทดสอบระบบ เมื่อพัฒนาระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทดสอบระบบว่าตรงตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยการทดสอบระบบดำเนินการดังนี้

การทดสอบความถูกต้องของการทำงานแอปพลิเคชัน (Functional Testing) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Testing) [11] ซึ่งเป็นการทดสอบโดยมุ่งเน้นที่ผลลัพธ์จากการป้อนข้อมูลเข้า (Input) ว่าระบบสามารถแสดงผลลัพธ์ (Output) ได้ถูกต้องตามความต้องการหรือไม่ โดยไม่สนใจโครงสร้างของโค้ดภายในระบบ ผลการทดสอบกรณีศึกษา (Test Case) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการทดสอบแอปพลิเคชันส่วนของการเข้าสู่ระบบ (Login)

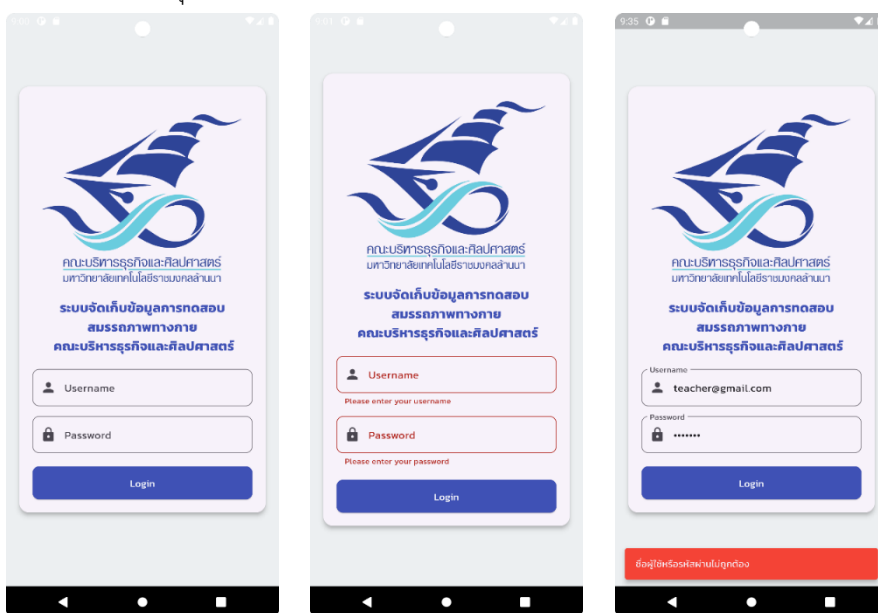
No.	Test Case	Test Data	Expected Outcome	Test Result	Remark
1	Entering correct username and password	Correct username and password	System login to activity screen and alerts message “เข้าสู่ระบบสำเร็จ”	Passed	-
2	Entering incorrect username and correct password	Incorrect username and correct password	System alerts message “ชื่อผู้ใช้หรือรหัสผ่านไม่ถูกต้อง”	Passed	-
3	Entering correct username and incorrect password	Correct username and incorrect password	System alerts message “ชื่อผู้ใช้หรือรหัสผ่านไม่ถูกต้อง”	Passed	-
4	Entering incorrect username and incorrect password	Incorrect username and incorrect password	System alerts message “ชื่อผู้ใช้หรือรหัสผ่านไม่ถูกต้อง”	Passed	-
5	No enter username and password	No enter username and password	System alerts message “กรุณากรอกชื่อผู้ใช้” and “กรุณากรอกรหัสผ่าน”	Passed	-
6	No enter username but enter password	Enter password only	System alerts message “กรุณากรอกชื่อผู้ใช้”	Passed	-
7	Entering username but no enter password	Enter username only	System alerts message “กรุณากรอกรหัสผ่าน”	Passed	-

นอกจากการทดสอบความถูกต้องของการทำงานแล้ว ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในด้านความเร็วในการตอบสนอง (Response Time) เพื่อวัดระยะเวลาตั้งแต่โมบายแอปพลิเคชันส่งคำขอ (Request) ไปยังเซิร์ฟเวอร์จนกระทั่งได้รับข้อมูลตอบกลับ (Response) และแสดงผลบนหน้าจอสมบูรณ์ โดยทำการทดสอบในฟังก์ชันหลักที่ต้องมีการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล ได้แก่ การเข้าสู่ระบบ การเรียกดูรายการกิจกรรม และการบันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย

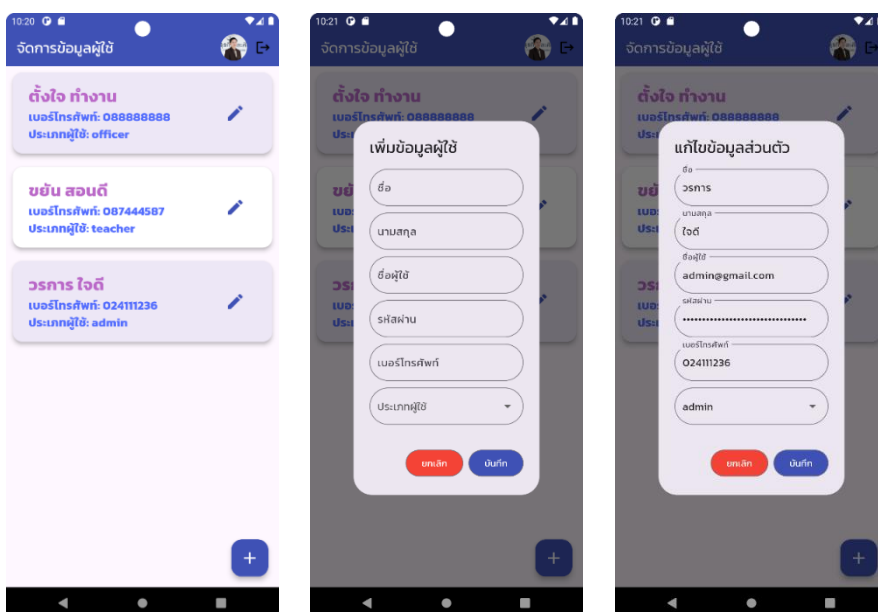
1.5 การประเมินผลระบบ สำหรับการประเมินระบบ ผู้วิจัยได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วนคือ ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ได้แก่อาจารย์และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชันโดยผู้ใช้งานจำนวน 5 คน ซึ่งเป็นอาจารย์และเจ้าหน้าที่ในกลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

4. ผลการวิจัย

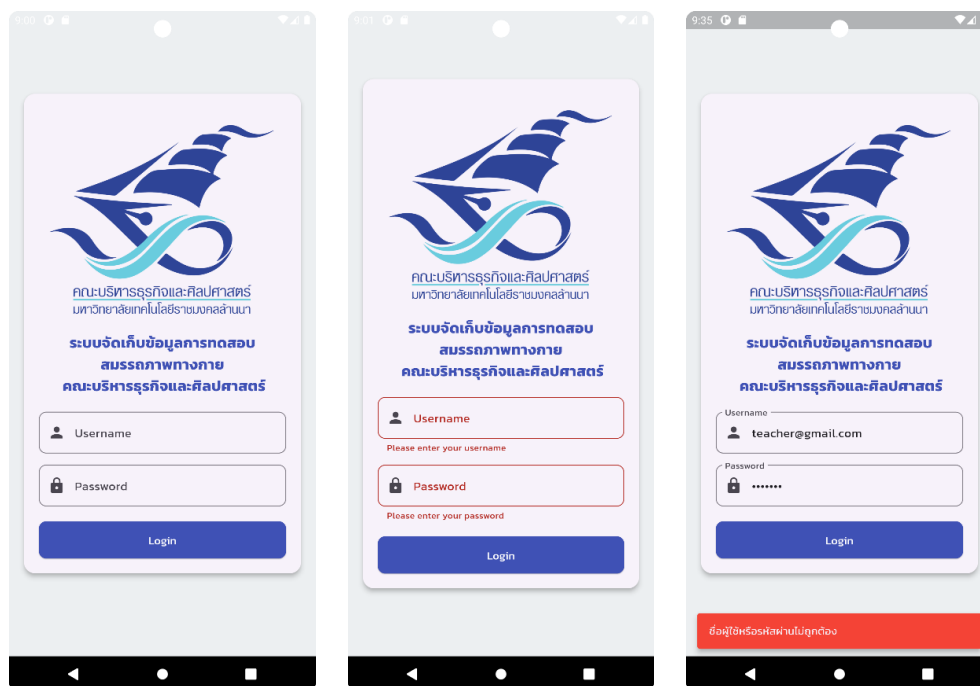
1. ผลการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษา กลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มีรายละเอียดดังนี้



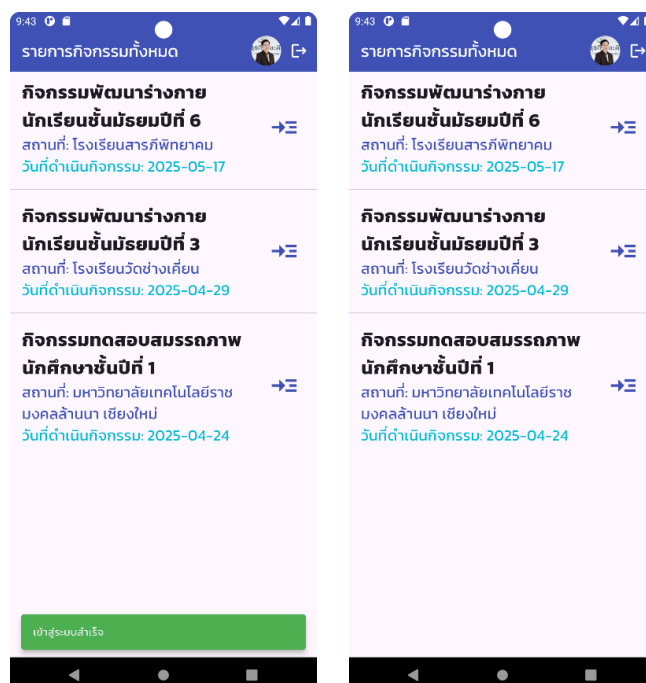
ภาพที่ 4 หน้าจอเข้าสู่ระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ



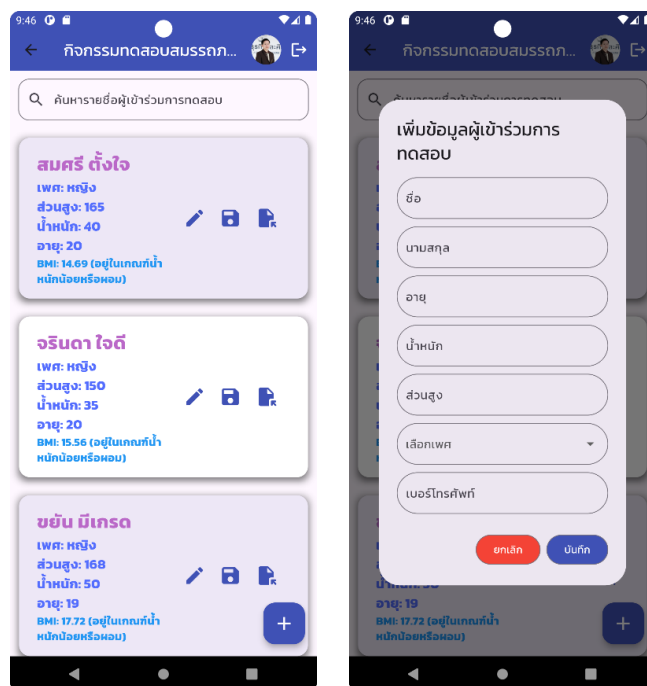
ภาพที่ 5 หน้าจอแสดงรายชื่อผู้ใช้ การเพิ่มและแก้ไขข้อมูลผู้ใช้



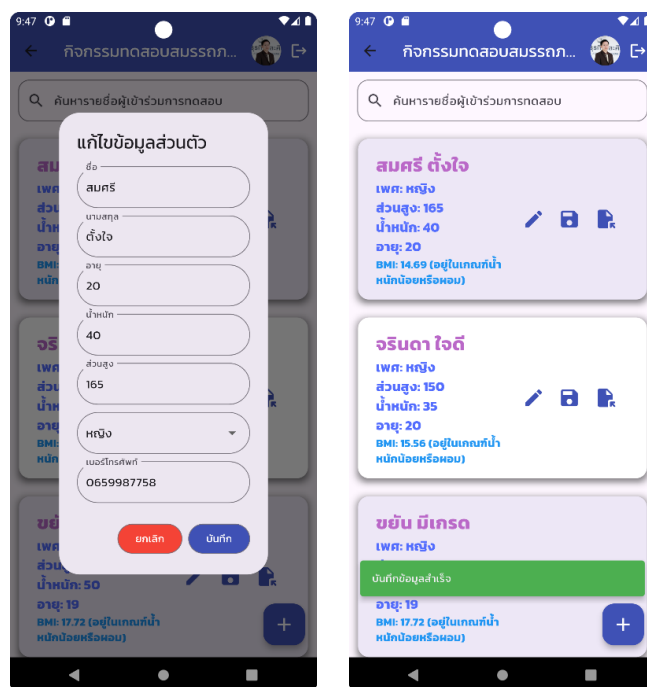
ภาพที่ 6 หน้าจอเข้าสู่ระบบสำหรับผู้ใช้



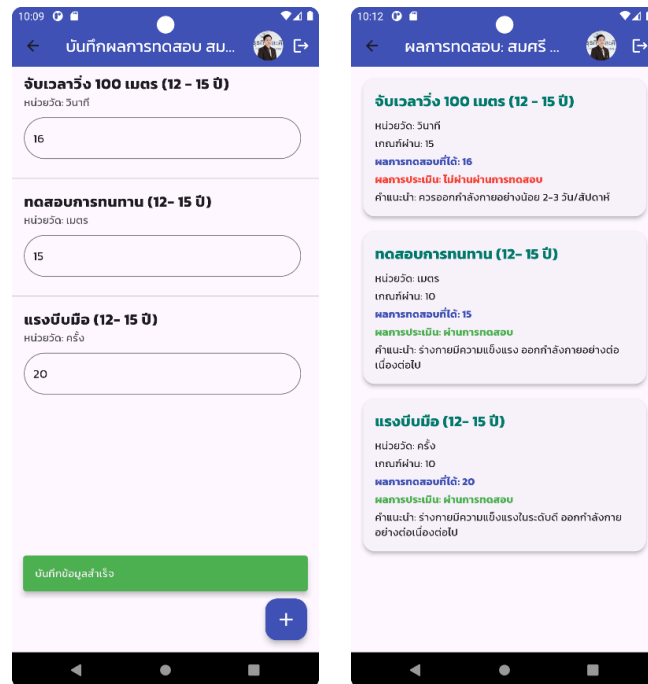
ภาพที่ 7 หน้าจอแสดงรายการกิจกรรมเมื่อผู้ใช้เข้าสู่ระบบสำเร็จ



ภาพที่ 8 หน้าจอแสดงรายชื่อและเพิ่มผู้เข้าร่วมการทดสอบสมรรถภาพในแต่ละกิจกรรม



ภาพที่ 9 หน้าจอการแก้ไขข้อมูลส่วนตัว



ภาพที่ 10 หน้าบันทึกผลและสรุปผลการทดสอบพร้อมคำแนะนำ

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านความเร็วในการตอบสนอง จากการทดสอบความเร็วในการตอบสนองของแอปพลิเคชันในการรับส่งข้อมูลผ่าน RESTful APIs พบว่าฟังก์ชันหลักของระบบมีระยะเวลาในการประมวลผลและแสดงผลในระดับที่น่าพอใจ โดยฟังก์ชันการเข้าสู่ระบบใช้เวลาเฉลี่ย 1.5 วินาที ฟังก์ชันการเรียกดูรายการกิจกรรมใช้เวลาเฉลี่ย 1.2 วินาที และฟังก์ชันการบันทึกผลการทดสอบใช้เวลาเฉลี่ย 1.8 วินาที ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถปฏิบัติงานภาคสนามได้อย่างราบรื่นและไม่เกิดความล่าช้า

3. ผลสรุปประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษากลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันของผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมินผล	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการออกแบบระบบ			
1. รูปแบบของระบบมีความสวยงามและน่าสนใจ	4.60	0.45	มากที่สุด
2. การจัดรูปแบบในระบบง่ายต่อการอ่าน	4.35	0.52	มาก
3. การออกแบบระบบในภาพรวม	4.25	0.58	มาก
รวม	4.40	0.52	มาก
ด้านการใช้งานระบบ			
1. การค้นหาข้อมูลต่างๆ ในระบบง่ายและสะดวก	4.15	0.63	มาก
2. เมนูการใช้งานเข้าถึงส่วนต่าง ๆ มีความชัดเจนและใช้งานได้ดี	4.55	0.47	มากที่สุด

ตารางที่ 2 ผลประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันของผู้เชี่ยวชาญ (ต่อ)

รายการประเมินผล	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
3. ระบบที่พัฒนาง่ายต่อการใช้งาน	4.30	0.59	มาก
4. ความชัดเจนของข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอ	4.20	0.64	มาก
5. การใช้งานโดยรวมของท่านที่มีต่อระบบ	4.10	0.68	มาก
รวม	4.26	0.60	มาก
ด้านประสิทธิภาพของระบบ			
1. ความรวดเร็วในการประมวลผล	4.00	0.72	มาก
2. ความง่ายของการใช้งานระบบ	4.50	0.50	มากที่สุด
3. ความรวดเร็วในการบันทึกข้อมูล	4.10	0.61	มาก
4. ความรวดเร็วในการแสดงผลข้อมูล	4.15	0.58	มาก
5. ประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม	4.20	0.54	มาก
ด้านเนื้อหา			
1. มีความชัดเจน ถูกต้อง และน่าเชื่อถือ	4.25	0.56	มาก
2. มีความสอดคล้องและตรงกับความต้องการ	4.20	0.60	มาก
3. เนื้อหาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้	4.60	0.42	มากที่สุด
4. ความน่าสนใจของข้อมูลเนื้อหา	4.10	0.65	มาก
5. ความเหมาะสมของเนื้อหาในภาพรวม	4.15	0.63	มาก
รวม	4.26	0.57	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.28	0.57	มาก

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมทุกด้าน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.28$ S.D. = 0.57) และเมื่อพิจารณารายด้านจากมากไปน้อย พบว่าด้านที่มีผลการประเมินสูงสุดคือ ด้านการออกแบบระบบ ($\bar{X} = 4.40$ S.D. = 0.52) รองลงมา คือด้านการใช้งานระบบ ($\bar{X} = 4.26$ S.D. = 0.60) และด้านเนื้อหา (รวม) ($\bar{X} = 4.26$ S.D. = 0.57) ส่วนด้านประสิทธิภาพของระบบ ($\bar{X} = 4.19$ S.D. = 0.59) ตามลำดับ

3. ผลสรุปประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษา กลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ของผู้ใช้งาน 5 คน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันของผู้ใช้

รายการประเมินผล	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการออกแบบระบบ			
1. รูปแบบของระบบมีความสวยงามและน่าสนใจ	4.65	0.70	มากที่สุด
2. การจัดรูปแบบในระบบง่ายต่อการอ่าน	4.45	0.72	มาก
3. ความพึงพอใจโดยรวมของท่านต่อการออกแบบระบบ	4.70	0.68	มากที่สุด
รวม	4.60	0.70	มากที่สุด

ตารางที่ 3 ผลประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันของผู้ใช้ (ต่อ)

รายการประเมินผล	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการใช้งานระบบ			
1. ระบบที่พัฒนาง่ายต่อการใช้งาน	4.75	0.72	มากที่สุด
2. ความชัดเจนของข้อมูลที่แสดงบนจอ	4.55	0.70	มากที่สุด
3. การค้นหาข้อมูลต่างๆ ในระบบง่ายและสะดวก	4.40	0.74	มาก
4. การใช้งานโดยรวมของท่านที่มีต่อระบบ	4.65	0.71	มากที่สุด
รวม	4.59	0.72	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.60	0.71	มากที่สุด

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันของผู้ใช้โดยรวมทุกด้าน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.60$ S.D. = 0.71) และเมื่อพิจารณารายด้านจากมากไปน้อย พบว่า ด้านที่มีผลการประเมินสูงสุดคือ ด้านการออกแบบระบบ ($\bar{X} = 4.60$ S.D. = 0.70) รองลงมา คือด้านการใช้งานระบบ ($\bar{X} = 4.59$ S.D. = 0.72) ตามลำดับ แต่โดยภาพรวมไม่ได้มีความแตกต่างกันมาก

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษากลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ผู้วิจัยได้ใช้เทคโนโลยี Flutter Framework ซึ่งเขียนด้วยภาษา Dart มาใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Google ทำให้ผู้พัฒนาสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันแบบข้ามแพลตฟอร์ม (Cross-platform) โดยการเขียนโค้ดด้วยชุดคำสั่งหรือภาษาเดียว (Single Codebase) สามารถนำไปใช้บนหลากหลายแพลตฟอร์มได้ โดย Flutter Framework มีส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่เรียกว่าวิดเจ็ต (Widget) ที่หลากหลายสำหรับการสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งาน อีกทั้งยังมี Hot Reload ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ช่วยให้นักพัฒนาระบบสามารถดูผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงของโค้ดที่เขียนได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องรีสตาร์ทหรือรันแอปพลิเคชันใหม่ ซึ่งช่วยลดเวลาในขั้นตอนของการพัฒนาและทดสอบแอปพลิเคชันได้เป็นอย่างดี

เมื่อนำแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย ไปทดสอบการใช้งานจริงพบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.28$) และความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.60$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันสามารถแก้ปัญหาการจัดเก็บข้อมูลภาคสนามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ คอลิด และคณะ (2566) ที่พัฒนาแอปพลิเคชันคัดกรองสุขภาพและพบว่าแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความคล่องตัวในการทำงานของเจ้าหน้าที่ภาคสนามได้จริง

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลการประเมินรายด้าน พบว่าด้านการออกแบบระบบและการใช้งานได้รับคะแนนสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ นลินี และคณะ [7] สรญา และคณะ [10] ที่ระบุว่าการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยเทคโนโลยี Flutter Framework แบบ Cross-platform มีจุดเด่นสำคัญในการสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (UI) ที่สวยงาม ใช้งานง่าย และมีความรวดเร็วในการแสดงผล ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการ

ยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) ที่ชี้ให้เห็นว่า การที่ระบบถูกออกแบบมาให้มีความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use) และมีประโยชน์ต่อการลดขั้นตอนการทำงาน (Perceived Usefulness) ส่งผลโดยตรงให้บุคลากรและเจ้าหน้าที่เกิดความพึงพอใจในระดับสูงสุด และพร้อมที่จะนำเทคโนโลยีใหม่นี้ไปใช้ทดแทนรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลด้วยเอกสารแบบเดิม

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ได้แก่ (1) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษากลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน และ (3) เพื่อประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชัน การสรุปผลการวิจัยในแต่ละวัตถุประสงค์ดังนี้

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษากลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมีความสำคัญในการช่วยในการจัดเก็บข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย โดยการวิเคราะห์และออกแบบระบบโดยต่อยอดจากระบบงานเดิมคือเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้สามารถใช้งานบนสมาร์ตโฟนได้ ด้วยการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันโดยใช้เทคโนโลยี Flutter Framework และภาษา Dart ช่วยพัฒนาการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้ จัดการข้อมูลผู้ทดสอบ และบันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพได้จริง ผ่านโมบายแอปพลิเคชัน มีส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่สวยงาม เรียบง่าย ทำงานได้สะดวกรวดเร็วในการใช้งานภาคสนาม

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน ผลการประเมินประสิทธิภาพของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ได้รับคะแนนรวมทุกด้านในระดับมาก ($\bar{X} = 4.28$ S.D. = 0.57) ชี้ให้เห็นถึงความสามารถของแอปพลิเคชันในการสร้างความพึงพอใจและการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพของผู้เชี่ยวชาญ

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชัน ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้จำนวน 5 คน แสดงคะแนนโดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.60$ S.D. = 0.71) ซึ่งสังเกตได้ว่าผู้ใช้งานรู้สึกพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชัน

ข้อจำกัดของการศึกษา

1. การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการติดตั้งแอปพลิเคชันผ่านไฟล์ APK สำหรับระบบปฏิบัติการ Android โดยตรง ซึ่งทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้ เมื่อต้องการเปลี่ยนเครื่องสมาร์ตโฟนจะต้องทำการติดตั้งใหม่ทุกครั้ง และยังมีความเสี่ยงในเรื่องความปลอดภัยของขั้นตอนในการติดตั้ง
2. เนื่องด้วยผู้วิจัยได้พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ทำให้ไม่สามารถพัฒนาและทดสอบแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS ได้
3. ต้องทำการเพิ่มสถานที่ กิจกรรมสำหรับการทดสอบ เกณฑ์สำหรับการทดสอบในแต่ละกิจกรรมบนเว็บแอปพลิเคชันก่อน

ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาในอนาคต

1. ควรพัฒนาแอปพลิเคชันให้รองรับการทำงานบนระบบปฏิบัติการ iOS หรือรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อรองรับสมาร์ตโฟนของผู้ใช้ที่หลากหลาย

2. พัฒนาในส่วนขอบเขตการทำงานบนโมบายแอปพลิเคชันให้สามารถทำงานได้เหมือนกับเว็บแอปพลิเคชันที่ต่อยอดการพัฒนา เช่น การสร้างกิจกรรมและกำหนดกิจกรรมสำหรับการทดสอบได้ การออกรายงานสรุปผลการทดสอบรายบุคคลในรูปแบบไฟล์ PDF

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอนามัย. (2565). คู่มือเรื่อง “การประเมินสมรรถภาพทางกายเพื่อลดความเสี่ยงต่อการหกล้มในผู้สูงอายุ”. <https://multimedia.anamai.moph.go.th/>
- [2] หยาดฝน ทับทิมหิน, อาพันธ์ เตียวตระกูล และทัศนาศ จารุชาติ. (2565). การจัดการฐานข้อมูลสุขภาพด้วยการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการส่งเสริมสุขภาพของศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ. *วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 10(2), 1-27.
- [3] Statista. (2024). *Number of smartphone mobile network subscriptions worldwide from 2016 to 2023, with forecasts from 2023 to 2028*. <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>
- [4] Flutter Framework. (2022). *What is Flutter Framework*. <https://flutter.dev/learn/>
- [5] วศิน เพิ่มทรัพย์, ปัทมาภรณ์ พิมพ์หานาม, วิโรจน์ ชัยมูล, สุพรรณษา ยวงทอง และภาสกร พาเจริญ. (2563). *ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ*. กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น จำกัด.
- [6] นรเทพ ศักดิ์เพชร, ชาตีส จิตรัทธธรรม, อรรถนพ บุญจันทร์ และ ชัยญานุช พุ่มพวง. (2566). การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บค่าธรรมเนียมนายก กรมศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลละงู อำเภอละงู จังหวัดสตูล. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*, 51(3), 238-256.
- [7] นสินี อินทนะโม, ณัฐวุฒิ บุญวิสูตร, สุบรร นกสังข์ และดินาถ หล้าสุข. (2567). การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสั่งซื้อก๊าซหุงต้ม. *วารสารวิชาการ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, 10(2), 102-112.
- [8] เวหา เกาะประเสริฐ และ สุวรรณิ อัครกุลชัน. (2567). การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการเลือกผักผลไม้. *วารสารร่มยุงทอง*, 2(3), 16-36.
- [9] คอลิต ครุณันท์, พชนีย์ ใจจง, ณัฐวุฒิ สุริยะ และสาคร อินทโธ. (2566). การพัฒนาแอปพลิเคชันการคัดกรองสุขภาพสำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ในเขตพื้นที่จังหวัดของภาคใต้. *วารสารพยาบาล*, 72(3), 55-62.
- [10] สรญา เปรี๊ยะประสิทธิ์, เสาวคนธ์ ตั้งภูริ, อาทิตา บุญประสิทธิ์, ฐิกันยาพัชร นาดี, วรินดา อนุอัน และชญานา นิษฐ์ ผลบุญ. (2567). การพัฒนาแอปพลิเคชันระบุตำแหน่งสำหรับครอบครัว ด้วยวงจรการพัฒนาโปรแกรม. *วารสารวิจัยและนวัตกรรม สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร*, 7(2), 196-214.
- [11] Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2014). *Software engineering: a practitioner's approach (8th ed.)*. McGraw-Hill Education.

ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักตัวที่มีต่อความแม่นยำในนักกีฬายิงธนู

THE EFFECT OF BODY WEIGHT TRAINING ON ACCURACY IN ARCHERY ATHLETES

ณรงค์ วิชัยรัตน์¹ จิรายุทธ ลีลาน้อย² สบสันต์ มหานิยม¹ ชชาติชาย อมิตรพ่าย¹ ไพศาล สุขเกษม¹
ประดิษฐ์ สงค์แสงยศ^{*3}

Narong wichailat¹, Jirayut Leelanoi², Sobsun mahaniyom¹, Chatchai Amitpai¹, Paisal Sukasame¹,
Pradit Songsangyos^{*3}

¹ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยชินวัตร

² คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี

^{*3} คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยชินวัตร

¹ Faculty of Education, Shinawatra University

² Faculty of Education, Thailand National Sports University chonburi campus

^{*3} Faculty of Engineering and Technology, Shinawatra University

* E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): prdit.s@siu.ac.th

วันที่รับบทความ 15 มีนาคม 2569 วันที่แก้ไขบทความ 12 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบความแม่นยำในการยิงธนูและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ก่อนและหลังการฝึก 2) เปรียบเทียบความแม่นยำในการยิงธนูและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ระหว่างกลุ่มที่ฝึกด้วยน้ำหนักตัวและกลุ่มควบคุม 3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวกับความแม่นยำในการยิงธนู กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักกีฬายิงธนู มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี จำนวน 30 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง และแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการจับคู่ ตามระดับความสามารถ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ โปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักตัว, แบบทดสอบความแม่นยำในการยิงธนูระยะ 18 เมตร และแบบทดสอบความแข็งแรงแกนกลางลำตัว วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าที และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันโดย

ผลการวิจัยพบว่าภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์ กลุ่มทดลองมีคะแนนความแม่นยำในการยิงธนู และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว สูงกว่าก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์ กลุ่มทดลองมีพัฒนาการด้านความแม่นยำในการยิงธนูและความแข็งแรง ของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ความแข็งแรง ของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวมีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูง ($r = .78$) กับความแม่นยำในการยิงธนู อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ: การฝึกด้วยน้ำหนักตัว; ความแม่นยำ; กีฬายิงธนู; ความแข็งแรงแกนกลางลำตัว

ABSTRACT

This experimental research the objectives to 1) compare archery accuracy and core muscle strength before and after training; 2) compare these variables between a bodyweight training group and a control group; and 3) determine the relationship between core muscle strength and archery accuracy. The participants consisted of 30 archers from the Thailand National Sports University, Chonburi Campus, selected via purposive sampling and assigned into two groups using the matched pair technique based on ability levels. Research instruments included the bodyweight training program, an 18-meter archery accuracy test, and a core muscle endurance test. Data were analyzed using mean, standard deviation, t-test, and Pearson's product-moment correlation coefficient.

The results revealed that 1. After 8 weeks of training, the experimental group showed significantly higher archery accuracy scores and core muscle strength compared to pre-training levels at the .05 level of significance. 2. After 8 weeks of training, the experimental group demonstrated significantly greater improvement in archery accuracy and core muscle strength compared to the control group at the .001 level of significance. 3. There was a high positive correlation ($r = .78$) between core muscle strength and archery accuracy at the .05 level of significance.

Keywords: Body weight training; Accuracy; Archery; Core muscle strength

1. บทนำ

กีฬายิงธนูเป็นกีฬาที่ต้องอาศัยความแม่นยำ (accuracy) และความสม่ำเสมอ (consistency) ในการควบคุมทิศทางและแรงของลูกธนูให้พุ่งเข้าสู่เป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ ความสำเร็จในการยิงธนูมิได้ขึ้นอยู่กับทักษะทางเทคนิคเพียงอย่างเดียว หากแต่ยังต้องอาศัยสมรรถภาพทางกายที่เหมาะสม ความพร้อมทางด้านจิตใจ และการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพ โดย Kisik Lee [1] ได้อธิบายว่า องค์ประกอบสำคัญของการยิงธนูประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ เทคนิคการยิง ทักษะทางกาย ทักษะทางจิตใจ และอุปกรณ์ ซึ่งทั้งหมดต้องได้รับการพัฒนาอย่างสมดุล เปรียบเสมือนล้อทั้งสี่ของรถยนต์ที่ต้องหมุนไปพร้อมกันจึงจะสามารถขับเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในประเทศไทย กีฬายิงธนูได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่การก่อตั้งสมาคมกีฬายิงธนูแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2513 โดยมีสถาบันการศึกษาหลายแห่ง โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ ทำหน้าที่เป็นแหล่งผลิตและพัฒนา นักกีฬายิงธนูเข้าสู่ระดับชาติและนานาชาติ อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ผลการแข่งขันของนักกีฬายิงธนู มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี ในช่วง 2 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2565–2566) พบว่าคะแนนเฉลี่ยในการแข่งขันรอบคัดเลือกระยะ 18 เมตร (Indoor/Qualification) มีค่าเท่ากับ 562.5 คะแนน จากคะแนนเต็ม 600 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานระดับนานาชาติที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 580 คะแนน และต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยของนักกีฬาระดับเอเชียซึ่งมีค่าเฉลี่ย 575.2 คะแนน [2]

จากการสังเกต วิเคราะห์ และประสบการณ์ของผู้วิจัยในฐานะผู้ฝึกสอนกีฬายิงธนู มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี เป็นระยะเวลา 3 ปี พบปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการยิงธนูของนักกีฬาสามารถสรุปได้ดังนี้ ประการแรก ปัญหาด้านสมรรถภาพทางกาย พบว่านักกีฬาส่วนใหญ่มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวอยู่ในระดับต่ำ จากการทดสอบ Plank Test พบว่านักกีฬา 68.3% (41 จาก 60 คน) สามารถคงท่า Plank ได้น้อยกว่า 90 วินาที ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของนักกีฬายิงธนูระดับชาติที่ควรทำได้ไม่น้อยกว่า 120 วินาที [3] นอกจากนี้ ยังพบความไม่สมดุลของกล้ามเนื้อส่วนบน โดยนักกีฬามักมีอาการปวดบริเวณไหล่ หลัง และแขนภายหลังจากฝึกซ้อมเป็นเวลานาน โดยเฉพาะหลังการยิงมากกว่า 120 ลูกต่อครั้ง อีกทั้งจากการวิเคราะห์วิดีโอการยิงของนักกีฬา 30 คน พบว่าร้อยละ 76.7 มีค่าการแกว่งของท่าทางร่างกาย (postural sway) มากกว่า 2.5 เซนติเมตร ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการกระจายของลูกธนูบนเป้า (grouping) ทำให้ความแม่นยำลดลง ประการที่สอง ปัญหาการขาดโปรแกรมพัฒนาสมรรถภาพทางกายอย่างเป็นระบบ จากการสำรวจรูปแบบการฝึกซ้อมของทีมยิงธนู พบว่าร้อยละ 85 ของเวลาฝึกทั้งหมดถูกใช้ไปกับการฝึกเทคนิคการยิง ในขณะที่การฝึกสมรรถภาพทางกายมีเพียงร้อยละ 15 และยังขาดโปรแกรมฝึกเสริมสร้างกล้ามเนื้อเฉพาะทางที่สอดคล้องกับลักษณะการเคลื่อนไหวในการยิงธนู โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นเพียงการวิ่งและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อทั่วไป ประการที่สาม ข้อจำกัดด้านสถานที่และงบประมาณ มหาวิทยาลัยมีงบประมาณจำกัดในการจัดหาอุปกรณ์ฝึกสมรรถภาพทางกาย และสนามยิงธนูตั้งอยู่ห่างจากห้องฟิต ส่งผลให้นักกีฬาไม่สะดวกในการเข้ารับการฝึกเสริมสมรรถภาพทางกายอย่างสม่ำเสมอ

งานวิจัยจำนวนมากยืนยันถึงความสำคัญของสมรรถภาพทางกายที่มีต่อความแม่นยำในการยิงธนู โดย Ertan et al. [4] พบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบนมีความสัมพันธ์กับคะแนนเฉลี่ยในการยิงธนูในระดับสูง ($r = .72, p < .01$) ทั้งในนักกีฬามือใหม่และนักกีฬาระดับสูง ขณะที่ Mandic et al. [5] รายงานว่าความแข็งแรงของการบีบกำปั้นมีความสัมพันธ์กับการควบคุมการสั่นของคันธนูและความแม่นยำในการยิง ส่วน LWW [6] ชี้ให้เห็นว่านักกีฬาที่มีค่าการแกว่งของร่างกายต่ำจะมีการกระจายของลูกธนูแคบและยิงได้ใกล้ศูนย์กลางมากขึ้น การฝึกด้วยน้ำหนักตัว (bodyweight training) จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับนักกีฬายิงธนู โดยเป็นรูปแบบการฝึกที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ราคาแพง สามารถฝึกได้ทุกที่ และช่วยพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบน ส่วนล่าง และกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7] [8] อีกทั้งยังช่วยพัฒนาการทรงตัวและการประสานงานของร่างกาย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความแม่นยำในการยิงธนู งานวิจัยในกีฬาอื่นสนับสนุนประสิทธิภาพของการฝึกด้วยน้ำหนักตัว เช่น จิระภา สมศรีพงษ์ และคณะ [9] พบว่าการฝึกด้วยน้ำหนักตัวช่วยเพิ่มความแม่นยำในการยิงปืนยาวท่านอนระยะ 50 เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ ธีรวิทย์ อินตะปัญญา และคณะ [10] รายงานว่าการฝึกความแข็งแรงด้วยยางยืดและน้ำหนักตัวช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบนและกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวของนักกีฬายิงธนูอย่างมีนัยสำคัญ และ Calatayud et al. [11] ระบุว่า การฝึกด้วยน้ำหนักตัวสามารถพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อได้ใกล้เคียงกับการฝึกแบบใช้แรงต้านจากน้ำหนักภายนอก อย่างไรก็ตาม แม้จะมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการฝึกด้วยน้ำหนักตัวในกีฬาหลายประเภท แต่ยังคงขาดงานวิจัยในประเทศไทยที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยน้ำหนักตัวที่มีต่อความแม่นยำในการยิงธนูโดยตรง โดยเฉพาะในนักกีฬาระดับมหาวิทยาลัยซึ่งในช่วงสำคัญของการพัฒนาสู่การเป็นนักกีฬาระดับชาติ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการออกแบบโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักตัวที่มีความเฉพาะเจาะจงสำหรับนักกีฬายิงธนู และศึกษาผลของโปรแกรมหากล่าวที่มีต่อความแม่นยำในการยิงธนู เพื่อเป็นแนวทางในการ

พัฒนาศักยภาพนักกีฬายิงธนูให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในบริบทที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณและสถานที่

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการยิงธนูระยะ 18 เมตร ระหว่างกลุ่มที่ฝึกด้วยน้ำหนักตัวกับกลุ่มควบคุม ในนักกีฬายิงธนู มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี หลังฝึก 8 สัปดาห์
2. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว (Core Muscle Endurance) ที่วัดด้วย Plank Test ระหว่างกลุ่มที่ฝึกด้วยน้ำหนักตัวกับกลุ่มควบคุม หลังฝึก 8 สัปดาห์
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว และความแม่นยำในการยิงธนูระยะ 18 เมตร ในนักกีฬาที่ฝึกด้วยน้ำหนักตัว

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบ Pre-test/Post-test Control Group Design โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมฝึกด้วยน้ำหนักตัว 8 สัปดาห์ที่มีต่อความแม่นยำในการยิงธนูระยะ 18 เมตร และความแข็งแรงกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวของนักกีฬายิงธนู มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี เพื่อให้การดำเนินการวิจัยมีความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. แนวคิดและความหมายของกีฬายิงธนู

1.1 แนวคิดและความหมายของกีฬายิงธนู

กีฬายิงธนู (Archery) จัดเป็นกีฬาประเภทความแม่นยำ (Precision Sport) ที่มุ่งเน้นการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายอย่างละเอียดอ่อน เพื่อส่งลูกธนูไปยังเป้าหมายที่กำหนดให้ได้ใกล้จุดศูนย์กลางมากที่สุด ภายใต้กฎกติกาที่เป็นมาตรฐานสากล กีฬายิงธนูมีลักษณะเป็นทักษะแบบปิด (Closed Skill) กล่าวคือ ผู้ปฏิบัติเป็นผู้กำหนดจังหวะและเวลาในการเริ่มปฏิบัติทักษะด้วยตนเอง โดยมีสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างคงที่และสามารถควบคุมได้ ส่งผลให้ความสำเร็จของการยิงขึ้นอยู่กับความสามารถในการควบคุมร่างกายและจิตใจของนักกีฬาเป็นสำคัญ

World Archery Federation [12] ให้ความหมายของกีฬายิงธนูว่าเป็นกิจกรรมหรือศิลปะในการใช้คันธนู (Bow) ส่งลูกธนู (Arrow) ไปยังเป้าหมายที่กำหนด โดยปฏิบัติตามกติกการแข่งขันอย่างเป็นระบบและยุติธรรม ในมุมมองของวิทยาศาสตร์การกีฬา กีฬายิงธนูเป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular System) เพื่อควบคุมท่าทาง การทรงตัว และแรงดึงของสายธนูในลักษณะการเกร็งค้าง (Isometric Contraction) เป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนการปล่อยลูกธนู

ดังนั้น กีฬายิงธนูจึงไม่ใช่เพียงการเล็งเป้าด้วยสายตาเท่านั้น แต่เป็นกระบวนการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายทั้งระบบให้เกิดความแม่นยำและสม่ำเสมอสูงสุด

2. ความแม่นยำและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ความแม่นยำ (Accuracy) ในกีฬายิงธนู หมายถึง ความสามารถของนักกีฬาในการยิงลูกธนูให้พุ่งไปยังตำแหน่งเป้าหมายหรือบริเวณศูนย์กลางของเป้าให้ใกล้เคียงที่สุด ความแม่นยำจึงเป็นตัวชี้วัดผลสัมฤทธิ์ในการแข่งขัน และการฝึกซ้อมกีฬายิงธนูอย่างมีนัยสำคัญ นักกีฬาที่มีความแม่นยำสูงจะสามารถควบคุมทิศทาง แรง และจังหวะในการปล่อยลูกธนูได้อย่างเหมาะสมและสม่ำเสมอ ส่งผลให้คะแนนการยิงมีความคงที่และมีประสิทธิภาพสูง

ความแม่นยำในการยิงธนูเป็นผลมาจากการบูรณาการของหลายปัจจัย ทั้งด้านร่างกาย จิตใจ และทักษะทางเทคนิค โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความแม่นยำสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.1 ปัจจัยด้านสมรรถภาพทางกาย

สมรรถภาพทางกายเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำในการยิงธนู โดยเฉพาะความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อส่วนบน กล้ามเนื้อไหล่ หลัง และกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว (Core muscles) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการรักษาความมั่นคงของท่าทางในขณะยกคันธนู เล็งเป้า และปล่อยลูกธนู หากกล้ามเนื้อดังกล่าวมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ จะทำให้เกิดการสั่นไหวของร่างกาย ส่งผลให้ทิศทางของลูกธนูคลาดเคลื่อนจากเป้าหมาย นอกจากนี้ ความทนทานของกล้ามเนื้อยังช่วยให้นักกีฬาสถาพรรักษาท่าทางการยิงที่ถูกต้องได้อย่างต่อเนื่องตลอดการแข่งขันหรือการฝึกซ้อม ลดความเมื่อยล้า และช่วยให้การควบคุมการเคลื่อนไหวมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2.2 ปัจจัยด้านทักษะและเทคนิคการยิง

ทักษะและเทคนิคการยิงธนูเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำ ประกอบด้วย การยืนท่า (Stance) การจับคันธนู การดึงสาย การเล็งเป้า การควบคุมการหายใจ และการปล่อยลูกธนูอย่างสม่ำเสมอ นักกีฬาที่มีเทคนิคที่ถูกต้องจะสามารถควบคุมแรงและทิศทางของลูกธนูได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความผิดพลาดที่เกิดจากท่าทางที่ไม่เหมาะสม ความแม่นยำในการยิงธนูขึ้นอยู่กับการทำซ้ำ (Repetition) ของท่าทางให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่: 1. การจัดแนวแรง (Structural Alignment) การวางแนวแขนด้านประกอบคันธนู (Bow Arm) และไหล่ให้เป็นเส้นตรงเดียวกันเพื่อใช้โครงสร้างกระดูกเป็นตัวรับแรงแทนกล้ามเนื้อ ซึ่งช่วยลดการล้าและการสั่น (Bone-on-Bone Support) 2. ความคงที่ของระยะดึง (Draw Length Consistency) การเข้าสู่จุดยึดเหนี่ยว (Anchor Point) ที่จุดเดิมอย่างแม่นยำ หากระยะดึงคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย จะส่งผลต่อความแรงของสายธนู (Draw Weight) และวิถีลูกธนูทันที [13]

2.3 ปัจจัยด้านจิตใจและสมาธิ

ด้านจิตใจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความแม่นยำในการยิงธนู สมาธิ ความมั่นใจในตนเอง และการควบคุมความเครียด มีผลต่อความสามารถในการจดจ่อกับเป้าหมายและการควบคุมการเคลื่อนไหวในขณะยิง หากนักกีฬขาดสมาธิหรือมีความวิตกกังวลสูง อาจส่งผลให้จังหวะและการปล่อยลูกธนูไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความแม่นยำลดลง

2.4 ปัจจัยด้านประสบการณ์และการฝึกซ้อม

ประสบการณ์และการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอช่วยพัฒนาความแม่นยำในการยิงธนู โดยการฝึกซ้อมที่เหมาะสมจะช่วยให้ นักกีฬาสถาพรปรับปรุงเทคนิค เสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และพัฒนาการควบคุมร่างกายและจิตใจได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะโปรแกรมการฝึกที่มุ่งเน้นการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวร่วมกับทักษะการยิง จะช่วยเพิ่มความมั่นคงของร่างกายและส่งเสริมความแม่นยำในการยิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของการฝึกด้วยน้ำหนักตัว ความแข็งแรงของแกนกลางลำตัว และความแม่นยำในการยิงธนู ผู้วิจัยได้รวบรวมและนำเสนอสาระสำคัญโดยแบ่งออกเป็นงานวิจัยในประเทศและงานวิจัยต่างประเทศ ดังนี้

จิระภา สมักรพงษ์, รยาชาติ เต็งกุสุลย์มาน และ ภานุ ศรีวิสุทธิ [9] ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกด้วยน้ำหนักที่มีต่อความแม่นยำในการยิงปืนยาวท่านอน 50 เมตร ในกลุ่มตัวอย่างนักกีฬายิงปืนยาวท่านอนเพศหญิงสถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตตรัง จำนวน 30 คน โดยแบ่งการฝึกออกเป็นโปรแกรมยิงปืนปกติและโปรแกรมฝึกด้วยน้ำหนัก ระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนความแม่นยำในการยิงปืนยาวท่านอน 50 เมตร เพิ่มขึ้นจาก 577.4 คะแนน เป็น 589.8 คะแนน และมีความแข็งแรงอดทนของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่งผลทางบวกต่อความแม่นยำในการยิงปืน เจริญ กระบวนรัตน์ [14] ศึกษาผลของการใช้โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยน้ำหนักตัว (Bodyweight) ที่มีต่อสมรรถภาพทางกายของพนักงานบริษัทไทยวอล์ก จำกัด จำนวน 354 คน โดยใช้โปรแกรมการฝึกที่ประกอบด้วยท่ายืดเหยียดกล้ามเนื้อ 6 ท่า และท่าฝึกความแข็งแรง 7 ท่า ฝึกปฏิบัติ 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า สมรรถภาพทางกายในด้านต่างๆ ได้แก่ ความอ่อนตัว (ตะแอมือด้านหลัง, ก้มตัวไปข้างหน้า) และความแข็งแรง (แรงบีบมือ, แรงเหยียดขา, แรงเหยียดหลัง) มีพัฒนาการดีขึ้นอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการฝึกด้วยน้ำหนักตัวในการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เสริม เจตนิพัทธ์ ปิ่นแก้ว [15] ศึกษาผลของโปรแกรมการออกกำลังกายโดยใช้น้ำหนักตัวเป็นแรงต้านร่วมกับฟิตเนสบอร์ดเกมที่มีต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนประถมศึกษาตอนปลาย จำนวน 36 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกด้วยน้ำหนักตัวมีค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพทางกายด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิต สูงกว่าก่อนการทดลองและสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งยืนยันว่าการใช้น้ำหนักตัวเป็นแรงต้านสามารถพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภูนิดา หยังถึง [16] เปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายแบบใช้น้ำหนักร่างกายกับแบบแอโรบิกที่มีต่อดัชนีมวลกายและปริมาณไขมัน ในนักศึกษาที่มีภาวะน้ำหนักเกิน จำนวน 60 คน ระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า การออกกำลังกายแบบใช้น้ำหนักตัวสามารถลดปริมาณไขมันที่เกาะตามอวัยวะภายในช่องท้อง (Visceral Fat) และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายได้ดีกว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มของการรักษามวลกล้ามเนื้อได้ดีกว่า ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเผาผลาญพลังงานระยะยาว ชีรวิทย์ อินต๊ะปัญญา และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกความแข็งแรงด้วยยางยืดและน้ำหนักตัว ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบนและกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวของนักกีฬายิงธนูมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ จำนวน 30 คน แบ่งเป็นกลุ่มควบคุม (ฝึกปกติ) และกลุ่มทดลอง (ฝึกด้วยยางยืดและน้ำหนักตัวร่วมกับการฝึกปกติ) ระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า (1) ภายในกลุ่มทดลอง มีพัฒนาการของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบน (Grip Strength, Push Up) และความมั่นคงของแกนกลางลำตัว (Core Strength and Stability) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนฝึกกับหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 (2) ระหว่างกลุ่ม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่าในสัปดาห์ที่ 8 กลุ่มทดลองมีค่าความแข็งแรงและความมั่นคงของแกนกลางลำตัว สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Higbie [17] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซคิเนติก (Isokinetic) ที่มีต่อการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อต้นขา ในกลุ่มสตรีอายุระหว่าง 18-35 ปี จำนวน 57 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มฝึกการหดตัวแบบคอนเซนตริก (Concentric), กลุ่มฝึกการคลายตัวแบบเอกเซนตริก (Eccentric) และกลุ่มควบคุม ใช้ระยะเวลาในการฝึก 10 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า การฝึกด้วยแรงต้านทั้งสองรูปแบบส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปัจจัยสำคัญมาจากการขยายขนาดของกล้ามเนื้อ (Hypertrophy) และการปรับตัวของระบบประสาท (Neural Adaptation) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการฝึกด้วยแรงต้านที่มีรูปแบบชัดเจนสามารถพัฒนาความแข็งแรงเฉพาะเจาะจงได้อย่างมีประสิทธิภาพ มอร์ตัน และคณะ (Morton et al., 2005) [18] ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านโดยไม่ใช้อุปกรณ์ (No equipment/Free weights) ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาและการเคลื่อนไหวในเด็กที่มีภาวะสมองพิการ (Cerebral Palsy) และมีอาการเกร็งของกล้ามเนื้อ (Hypertonic) จำนวน 8 คน อายุระหว่าง 6-12 ปี โดยทำการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ภายหลังการฝึก กลุ่มตัวอย่างมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาทั้งด้านหน้าและด้านหลังเพิ่มขึ้น และความตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลง นอกจากนี้ ยังพบพัฒนาการทางด้านการเคลื่อนไหว (Functional Mobility) ที่ดีขึ้น พิจารณาจากการเดิน การวิ่ง และการกระโดด รวมถึงอัตราเร็วและจำนวนก้าวในการเดินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้น้ำหนักตัวหรือแรงต้านธรรมชาติ สามารถพัฒนาความแข็งแรงและสมรรถภาพการเคลื่อนไหวได้จริง Boccolini et al. [19] ศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกการทรงตัว (Balance Training) และการฝึกด้วยเครื่องมือ (Isotonic Machine) ที่มีต่อสมรรถภาพในนักกีฬาสเกตบอลเยาวชน อายุต่ำกว่า 15 ปี จำนวน 23 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ฝึกการทรงตัวด้วยอุปกรณ์ Swiss ball และ Libra board และกลุ่มที่ฝึกด้วยเครื่อง Isotonic machine (Leg press, Leg extension) ใช้ระยะเวลาฝึก 30 นาทีต่อครั้ง จำนวน 2 วันต่อสัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกการทรงตัว มีพัฒนาการด้านความสามารถในการทรงตัว (Balance) และพลังในการกระโดดในแนวตั้ง (Vertical Jump) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ในขณะที่กลุ่มฝึกด้วยเครื่องมือมีการพัฒนาการทรงตัวน้อยกว่าและไม่พบการพัฒนาการกระโดดอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า การฝึกที่เน้นความมั่นคงและการทรงตัวส่งผลดีต่อสมรรถภาพทางกายเชิงกีฬามากกว่าการฝึกด้วยเครื่องมือเพียงอย่างเดียว

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi experimental research) โดยใช้แบบแผนการวิจัยแบบ Two-Group Pretest-Posttest Design มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมฝึกด้วยน้ำหนักตัวที่มีต่อความแม่นยำในการยิงธนูและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวของนักกีฬายิงธนู โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นนักกีฬายิงธนูของมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นนักกีฬายิงธนูของมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี เป็นผู้ที่มีการแข่งขันกีฬายิงธนูอย่างน้อย 6 เดือน อายุระหว่าง 18 – 25 ปี จำนวน 30 คน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

3.2 เครื่องมือวิจัย

3.2.1 เครื่องมือสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ 1. แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป 2. แบบฟอร์มความยินยอม 3. แบบทดสอบความแม่นยำในการยิงธนู 4. แบบทดสอบความแข็งแรงแกนกลางลำตัว (Plank Test)

3.2.2 เครื่องมือประกอบการฝึก ได้แก่ 1. โปรแกรมฝึกด้วยน้ำหนักตัว (สำหรับกลุ่มทดลอง) 2. โปรแกรมการฝึกเทคนิคปกติ (สำหรับกลุ่มควบคุม)

3.3. การสร้างเครื่องมือ

ผู้วิจัยศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักตัวและกำหนดเกณฑ์การวัดผล โดยร่างโปรแกรมการฝึกระยะเวลา 8 สัปดาห์ แบ่งเป็น 4 ช่วงการฝึก

3.4 ขั้นตอนเก็บข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมความพร้อม

1. ขออนุญาตรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
2. ติดต่อประสานงานเตรียมสถานที่ทดสอบ สนามยิงธนู และอุปกรณ์ทั้งหมด
3. ฝึกทีมผู้ช่วยวิจัยเพื่อให้แน่ใจว่ามีการดำเนินการทดสอบที่สม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 2: การทดสอบก่อนการฝึก (Pre-test)

ทดสอบความแม่นยำในการยิงธนู ทดสอบ Plank Test

ขั้นตอนที่ 3 การดำเนินการฝึก (8 สัปดาห์)

กลุ่มควบคุม ฝึกซ้อมยิงธนูตามปกติ

กลุ่มทดลอง ฝึกซ้อมยิงธนูตามปกติ + โปรแกรมน้ำหนักตัว (จันทร์, พุธ, ศุกร์ เวลา 16.30 - 17.15 น.)

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลระยะที่ 2 (Mid-test) หลังสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 4

ขั้นตอนที่ 4: การทดสอบหลังการฝึก (Post-test)

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการฝึก 8 สัปดาห์ ภายในระยะเวลา 3-5 วัน ทำการทดสอบความแม่นยำและ Plank Test อีกครั้ง วิธีเดียวกับการทดสอบก่อน ได้แก่ 1. ทดสอบความแม่นยำในการยิงธนู (60 ลูก) 2. ทดสอบ Plank Test

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าต่ำสุด (Minimum) และค่าสูงสุด (Maximum) สำหรับตัวแปรแต่ละตัว ในทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ทั้งในการทดสอบก่อนและหลัง

เปรียบเทียบภายในกลุ่ม (Within-Group) ใช้ Paired t-test เพื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังการฝึกภายในแต่ละกลุ่ม (Pre-test vs Post-test)

เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม (Between-Group) ใช้ Independent t-test เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง (Gain Score หรือ Delta) ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด

4. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฝึกด้วยน้ำหนักตัวที่มีต่อความแม่นยำในการยิงธนู ของนักกีฬายิงธนู ผู้วิจัยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (ฝึกด้วยโปรแกรมยิงธนูปกติ) จำนวน

15 คน และกลุ่มทดลอง (ฝึกด้วยโปรแกรมยิงธนูปกติร่วมกับโปรแกรมฝึกด้วยน้ำหนักตัว) จำนวน 15 คน ผู้วิจัยขอ
นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

ผู้วิจัยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พร้อมทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มด้วยสถิติ
Paired t-test ดังปรากฏในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังการฝึกภายในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ตัวแปร	กลุ่ม	Pre-test (M±SD)	Post-test (M±SD)	t	p
คะแนนการยิงธนู	EG	561.8 ±24.1	587.4±19.8	-6.23	<.001***
	CG	563.2 ±22.9	570.8 ±23.4	-2.18	.047*
Plank Test (วินาที)	EG	78.4 ±15.2	112.7 ±18.6	-9.45	<.001***
	CG	76.9 ±14.8	82.3 ±16.2	-1.89	.080

จากตารางที่ 1 พบว่าหลังการฝึก 8 สัปดาห์ กลุ่มทดลอง (EG) มีคะแนนความแม่นยำในการยิงธนูและ
ค่าความทนทานของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ($p < .001$) ในขณะที่
กลุ่มควบคุม (CG) มีคะแนนความแม่นยำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < .05$) แต่ไม่พบการ
เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในด้านความทนทานของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคะแนนการเปลี่ยนแปลง (Gain Score) ระหว่างกลุ่ม

ตัวแปร	EG Gain	CG Gain	t(df=28)	p	Cohen's d
Archery Score	+25.6±12.4	+7.6±11.8	-4.67***	<.001	1.72 (Large)
Plank Test	+34.3±14.7	+5.4±12.9	-6.89***	<.001	2.58 (Large)

หมายเหตุ การแปลความหมายค่า Cohen's d ใช้เกณฑ์ของ Cohen (1988)

จากตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบคะแนนการเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม
พบว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนการยิงธนูเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 25.6 คะแนน สูงกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งเพิ่มขึ้นเพียง 7.6 คะแนน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 นอกจากนี้ กลุ่มทดลองมีการเพิ่มขึ้นของค่า Plank Test มากกว่ากลุ่ม
ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) และมีขนาดของผลอยู่ในระดับสูง (Cohen's $d > 1.7$) แสดงให้เห็นถึง
ประสิทธิผลของโปรแกรมฝึกด้วยน้ำหนักตัวทั้งในเชิงสถิติและเชิงปฏิบัติ

ตารางที่ 3 การแปลความหมายค่า Cohen's d

ตัวแปร	EG Within	EG vs CG	Interpretation
Archery	1.89	1.72	Large
Plank	2.14	2.58	Large

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ขนาดของผลพบว่า ทั้งการเปรียบเทียบภายในกลุ่มทดลอง และการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีค่า Cohen's d อยู่ในระดับสูง (Large Effect Size) ทั้งในตัวแปรความแม่นยำในการยิงธนูและ Plank Test แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมฝึกด้วยน้ำหนักตัวมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ของการฝึกอย่างมีนัยสำคัญในทางปฏิบัติ

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพัฒนาการของความทนทานแกนกลางลำตัวและพัฒนาการความแม่นยำในการยิงธนู ปรากฏผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ Plank Test และคะแนนการยิงธนู

ตัวแปร	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>R</i> ²
Plank Gain → Archery Gain	.78	<.001	.61
Plank Pre → Archery Pre	.72	<.001	.52

จากตารางที่ 4 พบว่าพัฒนาการของค่า Plank Test มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงกับพัฒนาการของคะแนนความแม่นยำในการยิงธนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = .78, p < .001$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ .61 บ่งชี้ว่าการพัฒนาความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวสามารถร่วมอธิบายความแปรปรวนของคะแนนความแม่นยำในการยิงธนูที่เพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 61

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างนักกีฬายิงธนู มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตชลบุรี จำนวน 30 คน และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเสร็จสิ้นแล้ว จึงขอเสนออภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่พบว่า โปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักตัวส่งผลเชิงบวกอย่างชัดเจนต่อสมรรถภาพทางกายและความแม่นยำในการยิงธนู ผู้วิจัยขออภิปรายผลโดยเชื่อมโยงกับแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในประเด็นสำคัญดังนี้

ประเด็นที่ 1 ประสิทธิภาพของการฝึกด้วยน้ำหนักตัวต่อการพัฒนาความแข็งแรงแกนกลางลำตัว ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยเวลา Plank Test เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เป็นผลมาจากรูปแบบการฝึกด้วยน้ำหนักตัว (Bodyweight Training) ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะ โซ่จลนศาสตร์ปิด (Closed Kinetic Chain) ซึ่งมีกลไกทางชีวกลศาสตร์ในการกระตุ้นให้เกิดการหดตัวร่วมกัน (Co-contraction) ของกล้ามเนื้อรอบลำตัวเพื่อรักษาสมดุลต้านแรงโน้มถ่วง ส่งผลให้เกิดการระดมหน่วยยนต์ (Motor Unit Recruitment) ของกล้ามเนื้อชั้นลึก อาทิ Transversus Abdominis และ Multifidus ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวคิดของ เจริญ กระจวนรัตน์ [14] ที่กล่าวว่า การใช้น้ำหนักตัวเป็นแรงต้านสามารถพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ดีโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เจตนิพัทธ์ ปิ่นแก้ว [15] ที่พบว่าโปรแกรมการออกกำลังกายด้วยน้ำหนักตัวสามารถพัฒนาความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อได้อย่างมีนัยสำคัญ

ประเด็นที่ 2 บทบาทของแกนกลางลำตัวต่อความแม่นยำในการยิงธนู การที่กลุ่มทดลองมีความแม่นยำในการยิงธนูสูงกว่ากลุ่มควบคุม สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการ "เสถียรภาพแกนกลางลำตัว" (Core Stability) ซึ่ง

ทำหน้าที่เป็นรากฐาน (Foundation) ในการควบคุมการแกว่งตัวของร่างกาย (Postural Sway) ในจังหวะนิ่งเสถียร (Holding Phase) เมื่อแกนกลางลำตัวแข็งแรง จะช่วยลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Micro-movements) และช่วยถ่ายเทแรงจากช่วงล่างสู่ช่วงบนได้อย่างสมบูรณ์ตามทฤษฎีห่วงโซ่ไคเนมาติก (Kinetic Chain) ผลการวิจัยนี้สนับสนุนงานวิจัยของ ธีรวิทย์ อินต๊ะปัญญา และคณะ [10] ที่พบว่า Core Strength ในนักกีฬายิงธนู ส่งผลให้ความมั่นคงของลำตัวและประสิทธิภาพในการยิงดีขึ้น รวมถึงสอดคล้องกับ Mason และ Pelgrim [20] ที่ระบุว่านักยิงธนูที่มีคะแนนสูงจะมีการแกว่งตัวของจุดศูนย์กลางถ่วง (COG) น้อยกว่านักกีฬาทั่วไป

ประเด็นที่ 3 ความทนทานของกล้ามเนื้อเกี่ยวกับการชะลอความเหนื่อยล้า กีฬายิงธนูต้องอาศัยการเกร็งค้าง (Isometric Contraction) ชั่ว ๆ เป็นเวลานาน การฝึกด้วยน้ำหนักตัวที่เน้นความทนทาน (Endurance) ช่วยชะลอจุดเริ่มต้นของความเหนื่อยล้า (Onset of Fatigue) ทำให้ระบบประสาทและกล้ามเนื้อยังคงทำงานประสานกันได้ดีแม้ในช่วงท้ายของการทดสอบ ต่างจากกลุ่มควบคุมที่อาจเกิดความล้าสะสม ส่งผลให้ฟอร์มการยิง (Shooting Form) ผิดเพี้ยนและคะแนนลดลง การค้นพบนี้ยืนยันแนวคิดของ Kisik Lee [1] ที่กล่าวว่าเทคนิคที่ดีต้องวางอยู่บนพื้นฐานของสมรรถภาพทางกายที่แข็งแกร่ง

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

เพื่อให้ผลการวิจัยนี้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการพัฒนากีฬายิงธนู ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ ดังนี้

1. การบูรณาการสู่การฝึกซ้อม ผู้ฝึกสอนควรนำโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักตัวบรรจุลงในแผนการฝึกซ้อมประจำวัน (Daily Training Plan) โดยเฉพาะในช่วงการเตรียมร่างกายทั่วไป (General Preparation Phase) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ประหยัด ปลอดภัย และแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านสถานที่และอุปกรณ์ได้อย่างตรงจุด
2. ความจำเพาะเจาะจง (Specificity) ในการนำไปใช้ ควรเน้นท่าฝึกที่มีลักษณะการเกร็งค้าง (Isometric Holds) เช่น Plank, Side Plank หรือ Superman Hold เพื่อเลียนแบบการทำงานของกล้ามเนื้อขณะยิงธนู ซึ่งจะช่วยให้เกิดการถ่ายโอนผลการฝึก (Transfer of Training) สู่ทักษะกีฬาได้ดีที่สุด
3. การประเมินผล ควรใช้แบบทดสอบ Plank Test เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจสอบความพร้อมของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวนักกีฬาก่อนเริ่มฤดูกาลแข่งขัน หากนักกีฬามีเวลาต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ควรเสริมโปรแกรมนี้นั้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. การศึกษาติดตามผลระยะยาว (Longitudinal Study) ควรขยายระยะเวลาการศึกษาเป็น 12-16 สัปดาห์ หรือติดตามผลในช่วงการแข่งขันจริง (Competition Phase) เพื่อดูความคงทนของความแข็งแรงและความแม่นยำภายใต้สภาวะกดดัน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kisik Lee, & Tyler Benner. (2010). Inside the archer. Astra Archery.
- [2] Asian Archery Federation. (2023). Asian archery statistics and records 2022-2023. Asian Archery Federation.
- [3] National Archery Association. (2020). Archery fitness and training guide. USA Archery.
- [4] Ertan, H., Kentel, B., Tümer, S. T., & Korkusuz, F. (2003). Activation patterns of forearm muscles during archery shooting. Human Movement Science, 22(1), 37-45.

- [5] Mandic, R., et al. (2004). Grip strength and archery performance. *Collegium Antropologicum*, 28(2), 685-692.
- [6] LWW. (2017). Postural sway and shooting accuracy in archery. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(55), 456.
- [7] Bittar, S. T., et al. (2016). Effects of bodyweight training on muscle strength and body composition. *Journal of Exercise Physiology Online*, 19(5), 95-104.
- [8] Coratella, G., et al. (2020). Specificity of bodyweight exercises for core stability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(7), 980-986.
- [9] จิระภา สมัครพงษ์, รยาศิต เต็งกุศลย์มาน, และ ภาณุ ศรีวิสุทธิ. (2563). ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักที่มีต่อความแม่นยำในการยิงปืนยาวท่านอน 50 เมตร. *วารสารวิชาการ สถาบันการพลศึกษา*, 12(1), 1-12.
- [10] อธิวิทย์ อินตะปัญญา, และคณะ. (2563). ผลของการฝึกความแข็งแรงด้วยยางยืดและน้ำหนักตัวที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบนและกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวของนักกีฬายิงธนู. *วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬา และสุขภาพ*, 21(3), 15-28.
- [11] Calatayud, J., Borreani, S., Colado, J. C., Martin, F., Tella, V., & Andersen, L. L. (2015). Bench press and push-up at comparable levels of muscle activity results in similar strength gains. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 246-253.
- [12] World Archery Federation. (2020). Rulebook 2: Events. World Archery.
- [13] USA Archery. (2018). Archery: The ultimate guide to mastering the sport. Human Kinetics.
- [14] เจริญ กระบวนรัตน์. (2556). ผลของการใช้โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยน้ำหนักตัวที่มีต่อสมรรถภาพทางกายของพนักงานบริษัทไทยวาโก้ จำกัด [รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [15] เจตนิพัทธ์ ปิ่นแก้ว. (2563). ผลของโปรแกรมการออกกำลังกายโดยใช้น้ำหนักตัวเป็นแรงต้านร่วมกับพิตเนสบอร์ดเกมที่มีต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนประถมศึกษาตอนปลาย (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [16] ภณิดา ห้างถึง. (2560). ผลของการออกกำลังกายแบบใช้น้ำหนักร่างกายกับแบบแอโรบิกที่มีต่อค่าดัชนีมวลกาย ค่าไขมันที่เกาะอยู่ตามอวัยวะภายในบริเวณช่องท้อง และค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันของผู้มีภาวะน้ำหนักเกิน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [17] Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren, G. L., & Prior, B. M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2173-2181.
- [18] Morton, J. F., Brownlee, M., & McFadyen, A. K. (2005). The effects of progressive resistance training on lower limb mechanics in children with cerebral palsy. *Clinical Rehabilitation*, 19(3), 283-289.
- [19] Boccolini, G., Brazziti, A., Bonfanti, L., & Alberti, G. (2013). Using balance training to improve the performance of youth basketball players. *Sport Sciences for Health*, 9(2), 37-42. <https://doi.org/10.1007/s11332-013-0143-z>

[20] Mason, B. R., & Pelgrim, P. P. (1986). Biomechanics of archery. Australian Institute of Sport.

OPTIMIZATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY IN CORDYCEPS MILITARIS-ENRICHED FERMENTED RICE WATER

Wishanee Matthayom^{*1}, Kanjana Pisapak¹, Tanawat Pongsuwan¹, Pitchya Tangsombatvichit²,
Wilaiwan Rosungnoen³, and Pattharaphorn Intanasak⁴

^{*1}*Division of Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Suvarnabhumi*

²*Division of Health Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Suvarnabhumi*

³*Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University*

⁴*Division of Digital Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Suvarnabhumi*

* E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): wishanee.m@rmutsb.ac.th

วันที่รับบทความ 17 มีนาคม 2569 วันที่แก้ไขบทความ 9 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2569

ABSTRACT

This research investigated the chemical composition and biological activities of *Cordyceps militaris* extracts and their application in fermented rice water to enhance antioxidant properties for skincare development. HPLC analysis revealed that *C. militaris* fruiting body extract contained 6.96 mg/g cordycepin and 0.13 mg/g adenosine per DW extract, while mycelial extract contained cordycepin 0.81 mg/g DW extract without detectable adenosine. The aqueous mycelial extract demonstrated significant bioactivities: 69.11±0.25% DPPH radical scavenging and 652.42±0.60 mg/L Fe²⁺ chelating capacity. Water extraction yielded higher phenolic compounds, vitamin E, and polysaccharides, whereas ethanol extraction produced higher flavonoid content. Application studies incorporated *C. militaris* extracts into fermented rice water prepared from Jasmine rice (KDML 105) and glutinous rice using *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) and *Saccharomycopsis fibuligera* (*S. fibuligera*). Late-stage supplementation significantly enhanced antioxidant capacity, phenolic content, flavonoids, and vitamin E levels, particularly with *S. fibuligera* fermentation. These findings demonstrate the potential of *C. militaris*-enriched fermented rice water formulations for developing high-efficacy skincare products with superior antioxidant protection.

Keywords: *Cordyceps militaris*; cordycepin; antioxidant activity; fermented rice water

1. Introduction

There has been a steady increase in the study of golden *Cordyceps* (*Cordyceps militaris*) extracts, including chemical and biological testing and their usefulness in creating nutritional supplements and medications. This is because golden *Cordyceps* contain a wide range of bioactive compounds with demonstrated health-promoting properties and include antitumor activity, promoting the immune system, and lowering the incidence of cancer [1] [2] [3]. Golden *Cordyceps* include a number of important active substances, including ergosterol, polysaccharides, proteins, and cordycepin. Furthermore, studies have been conducted on the antibacterial, anti-inflammatory, anti-photoaging, and antioxidant characteristics of golden *Cordyceps* [4] [5]. Beyond its established applications in regenerative medicine and nutraceuticals, including immunomodulation, sexual performance restoration, and physical vitality enhancement, *Cordyceps militaris* extracts have gained considerable commercial significance in the cosmeceutical sector, particularly in anti-aging and skin-conditioning formulations, owing to their potent antioxidant activity and melanogenesis-inhibitory properties [6] [7] [8] [9].

Mainly the stromata (fruiting bodies) of golden *Cordyceps* (a specialized reproductive structure that emerges from the mycelial network of fungi, functioning primarily to facilitate sexual reproduction and spore dispersal) are harvested for commercial usage because it has a high concentration of significant compounds. The culture media (the nutrient-rich foundation required for fungal growth) and mycelia (the vegetative part of a fungus, consisting of a complex, branching network of thread-like white filaments called hyphae) that make up the base are sold by farmers at a reduced cost. However, the fermented mycelium bases also possess antioxidant and antibacterial qualities, according to research by Dong et al. [10] and Torres-Martínez et al. [11]. As a consequence of the significantly higher concentration of bioactive constituents within the fruiting bodies of *Cordyceps*, this region commands a premium market valuation. In contrast, the residual culture media and mycelia, is frequently categorized as agricultural byproduct with negligible economic worth. Consequently, this research investigated the valorization of *Cordyceps* mycelium bases remnant as a primary substrate for the synthesis of novel value-added products, aiming to optimize the economic utility of this agricultural resource.

Rice constitutes a pivotal agricultural commodity in Thailand, with jasmine rice (*Oryza sativa* L.) enjoying widespread global recognition and commercial acceptance. Jasmine rice is a major export product, with Thailand being the second-largest rice exporter globally, holding a 16% market share [12] and The commercialization of jasmine rice has lifted many rural households out of poverty, particularly in the Northeast region, where its cultivation has been profitable since the 1980s [13]. The fermentation-based processing of Thai rice utilizing microbial agents has gained considerable industrial prominence, with yeasts representing one of the most extensively

employed microorganisms in large-scale fermentation processes. Yeasts function as catalytic agents in the bioconversion of sugar molecules to ethanol and carbon dioxide under aerobic conditions. Industrial fermentation primarily relies on diverse yeast strains, with *Saccharomyces cerevisiae* being the most widely used due to its high efficiency in converting glucose and fructose into ethanol [14] [15] [16]. However, some yeast species, such as *Pichia guilliermondii* and *Saccharomycopsis fibuligera*, exhibit limited starch utilization capabilities during fermentation, leading to the production of alternative metabolites such as vitamins, β -glucan, and bioactive peptides [17] [18]. Additionally, studies have shown that fermented rice water contains significantly higher levels of antioxidant compounds, particularly flavonoids and phenolic acids, compared to its non-fermented counterpart [19].

This study aims to investigate the potential of Cordyceps in enhancing yeast-based fermentation, with a focus on optimizing bioactive compound production. Specifically, to evaluate the feasibility of Cordyceps with conventional fermentation yeasts, assess its impact on antioxidant capacity (particularly flavonoid and phenolic acid content), and to investigate of augmenting antioxidant capacity in fermented rice water for cosmeceutical product development. Furthermore, the study focuses on developing cosmetic products from *Cordyceps militaris* through the utilization of mycelium substrate and cultivation medium—materials conventionally regarded as agricultural by-products from the cultivation process. This strategy generates value-added applications while supporting the progression of *Cordyceps militaris* cultivation toward Agriculture 4.0 via research initiatives aimed at achieving zero agricultural waste.

2. Materials and Methods

Raw material

A *Cordyceps militaris* sample was obtained from a farm in Samut Prakan Province, Thailand. Two kinds of rice, Jasmine brown rice RD 15 and Niao Kuang rice, procured from agricultural farms in Surin Province.

Extraction and preliminary analysis of bioactive properties of Cordyceps militaris extracts.

1. Extraction of Cordyceps militaris.

The 5.00 g samples of *Cordyceps militaris* fruiting body and mycelium were extracted with solvents at a 1:5 ratio, utilizing 95% ethanol and distilled water as extraction solvents. Extraction was performed using the maceration method at room temperature for 24 hours. The extract was subsequently filtered through filter paper, and the solvent was removed using a rotary evaporator. The crude extract was stored in amber bottles to preserve the bioactive compounds' integrity.

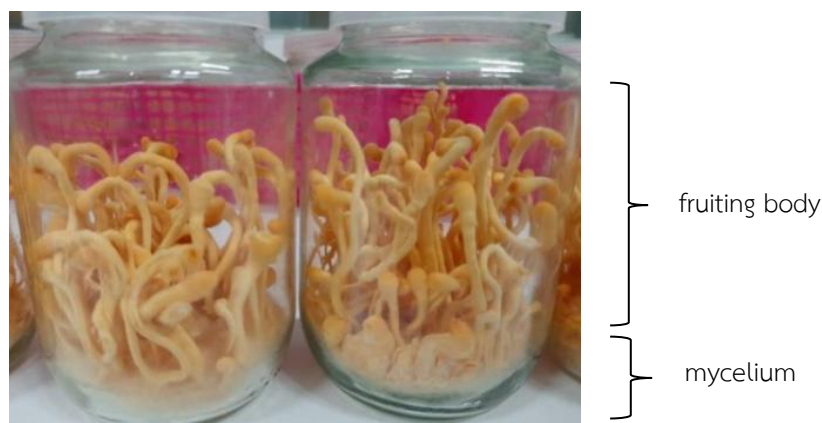


Figure 1. Constituents of *Cordyceps militaris* derived from culture medium cultivation.

In the cultivation of *Cordyceps militaris* (figure 1), the fungus presents two distinct structural forms that are the fruiting body, the orange, finger-like stalks reaching upward (often called "stromata") and the mycelium, the dense, pale, fuzzy layer located at the bottom of the jar.

2. HPLC-based quantification of cordycepin and adenosine concentrations.

Analysis of cordycepin and adenosine content using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) equipped with a Diode Array Detector (DAD) (Ultimate 3000, Thermo Scientific, USA) was performed according to a modified method of Huang et al. (2009) [20]. The stationary phase is Acclaim 120 C18 with a particle size of 5 microns. The mobile phase consisted of water and methanol in a 90:10 (v/v) ratio, with a flow rate of 1 mL/min. The injection volume was 10 μ L, and the column temperature was maintained at 32°C. Standard solutions of cordycepin and adenosine were prepared with concentration ranges of 0-100 ppm and 0-50 ppm, respectively.

3. Preparation of fermented rice water supplemented with *Cordyceps militaris* extract.

Clean samples of Jasmine brown rice RD 15 (RD 15) brown rice and Niao Kuang (NK) rice, an indigenous species of Surin Province, (50 g each) were combined with 100 mL of distilled water and sterilized by autoclaving at 121°C for 15 minutes. After cooling, an additional 100 mL of sterile distilled water was added. Fermentation was initiated using purified *Saccharomycopsis fibuligera* TISTR 5033 (*S. fibuligera*; SF) and *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5013 (*S. cerevisiae*; SC). The fermentation process was conducted at room temperature for 30 and 45 days, respectively. On the final day of fermentation, 10.00 g of *Cordyceps militaris* (C) mycelium extract was added, and the mixture was incubated for an additional 24 hours. The fermented product was subsequently filtered and pasteurized to obtain sample solutions for further analysis. Fermentation formula and corresponding codes are specified in Table 1.

Table 1. The fermentation formula and identification codes.

Identification codes	Fermentation formula
RD15-SF	Jasmine brown rice RD 15 + <i>Saccharomycopsis fibuligera</i>
RD15C-SF	Jasmine brown rice RD 15 + <i>Saccharomycopsis fibuligera</i> + <i>Cordyceps militaris</i> mycelium
NK-SF	Niao Kuang rice + <i>Saccharomycopsis fibuligera</i>
NKC-SF	Niao Kuang rice + <i>Saccharomycopsis fibuligera</i> + <i>Cordyceps militaris</i> mycelium
RD15-SC	Jasmine brown rice RD 15 + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
RD15C-SC	Jasmine brown rice RD 15 + <i>Saccharomyces cerevisiae</i> + <i>Cordyceps militaris</i> mycelium
NK-SC	Niao Kuang rice + <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
NKC-SC	Niao Kuang rice + <i>Saccharomyces cerevisiae</i> + <i>Cordyceps militaris</i> mycelium

4. Determination of antioxidant capacity.

4.1 Determination of total phenolic content using the Folin-Ciocalteu method.

Determination of total polyphenolic content was performed using a modified method of Matthayom et al. [21] employing Folin-Ciocalteu reagent containing phosphomolybdate and phosphotungstate as active components. A standard curve was constructed using gallic acid concentrations ranging from 10-500 ppm. The assay procedure involved reacting samples with 1.00 mL of Folin-Ciocalteu reagent and 3.00 mL of 7.5% (w/v) sodium carbonate solution. The reaction mixture was incubated in darkness for 30 minutes at room temperature, resulting in the formation of a blue-coloured complex. Absorbance was measured at 745 nm using a spectrophotometer. Total polyphenolic content in sample solutions was analysed using the same methodology and calculated by comparison with the standard curve. Results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents (mg GAE/g DW).

4.2 Determination of total flavonoid content using aluminium chloride colorimetric assay.

Determination of total flavonoid content was conducted using a modified method of Shraim et al. [22]. A standard curve was prepared using catechin at concentrations ranging from 10-50 ppm with sodium nitrite (NaNO_2) as the reagent. The assay procedure involved pipetting 1.00 mL of catechin standard solution and mixing with 0.20 mL of 0.5 M NaNO_2 and 0.20 mL of 0.3 M AlCl_3 . After incubation for 5 minutes, 1.00 mL of 1.0 M NaOH was added, and the mixture was allowed to stand for 5 minutes at room temperature. Absorbance was subsequently measured at 505 nm using a spectrophotometer. A standard curve was constructed using catechin

concentrations. Total flavonoid content in sample extracts was determined using the same methodology and expressed as milligrams of catechin equivalents (mg CAE/g DW).

4.3 Analysis of vitamin E content.

Vitamin E content analysis was performed using an alpha-tocopherol standard curve following a modified method of Bucci et al. [23]. Alpha-tocopherol standard solutions were prepared at concentrations ranging from 100-1000 ppm in DMSO solvent. Absorbance measurements were recorded at 298 nm wavelength using a spectrophotometer. For vitamin E analysis in extracts, 3.00 mL of concentrated extract (1 mg/mL in 95% ethanol) was pipetted and measured for absorbance at 298 nm wavelength. Vitamin E content was calculated from the standard curve and reported as vitamin E content per dry weight of sample.

4.4 Analysis of polysaccharide content using phenol-sulphuric colorimetric assay.

Total polysaccharide content analysis was performed according to the method of Masuko et al. [24]. A glucose standard curve was constructed using concentrations ranging from 100-500 ppm. The assay procedure involved pipetting 1.00 mL of standard solutions at various concentrations and mixing with 0.50 mL of 5% (w/v) phenol solution and 1.50 mL of concentrated sulphuric acid. The reaction mixture was allowed to stand for 20 minutes before measuring absorbance at 490 nm wavelength using a spectrophotometer. Polysaccharide content in the extracts was analysed by comparison with the standard curve and reported as polysaccharide content per dry weight of sample.

4.5 DPPH radical scavenging activity assay.

Antioxidant activity analysis using the DPPH method was performed following a modified procedure of Matthayom et al. [21]. The assay involved pipetting 1.00 mL of sample solution and mixing with 1.00 mL of 500 μ M DPPH solution. The mixture was adjusted to a final volume of 10 mL and incubated in darkness for 30 minutes to allow the reaction to proceed. Absorbance was measured at 505 nm wavelength, recorded as A_{sample} . The absorbance of DPPH solution without sample addition under identical conditions was measured as A_{control} . The percentage of DPPH radical scavenging activity was calculated using Equation (1).

$$\% \text{ DPPH free radical scavenging} = \left[\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

where

A_{control} represents the absorbance of DPPH solution

A_{sample} represents the absorbance of DPPH solution with added extract

4.6 Antioxidant activity assay using 1,10-phenanthroline method.

Antioxidant capacity determination using the 1,10-phenanthroline method was performed following a modified procedure of Szydlowska-Czerniak et al. [25]. The assay involved pipetting 1.00 mL of extract sample, adding 1.00 mL of 0.2% (w/v) ferric chloride solution, and 0.50 mL of 0.5% (w/v) 1,10-phenanthroline solution. The reaction mixture was incubated in darkness for 30 minutes at room temperature, resulting in the formation of an orange-red coloured solution. Absorbance was subsequently measured at 512 nm wavelength using a spectrophotometer. Antioxidant activity was reported by calculating results in comparison with a ferrous sulphate standard curve at concentrations ranging from 100-500 ppm.

3. Results

1. HPLC analysis results for cordycepin and adenosine quantification.

HPLC analysis results for cordycepin and adenosine content in 95% ethanol extracts from *Cordyceps militaris* fruiting body (FB) and mycelium (MC) are presented in Table 2. The findings indicate that cordycepin and adenosine concentrations in fruiting body extracts were higher than those in mycelium extracts. This differential distribution can be attributed to metabolic regulation, as demonstrated by Thananusak et al. [26], who reported that light exposure enhances metabolic pathways in *Cordyceps militaris*, leading to increased transcription of genes involved in cordycepin and adenosine biosynthesis, particularly in the fruiting body compared to the mycelium. These analysis results are consistent with the study by Singpoonga et al. [27], which reported concentration ranges of 734.9–9336.0 and 255.8–670.8 mg kg⁻¹ for cordycepin and adenosine, respectively, from 39 *Cordyceps militaris* fruiting body extract samples analyzed using Near-Infrared Spectroscopy technique.

Table 2. HPLC analysis results of cordycepin and adenosine content in extracts from *Cordyceps militaris* fruiting body and mycelium.

Sample	Extracted colours	Cordycepin concentration (mg/g DW extract)	Adenosine concentration (mg/g DW extract)
<i>Cordyceps militaris</i> fruiting body	Dark yellow	6.96	0.13
Mycelium <i>Cordyceps militaris</i>	Light yellow	0.81	nd.

Note: nd. indicates not detected

Although the mycelium contains lower concentrations of cordycepin and adenosine than the fruiting body, its utilization in this study represents a value-added approach to post-harvest waste management in *Cordyceps militaris* cultivation. The mycelium, typically a residual of the harvesting process, was incorporated alongside fermented rice water due to its richness in vitamins and polysaccharides, particularly β -glucan, which are known for their skin-nourishing properties, including moisturization, antioxidant activity, and skin barrier support [28]. This approach therefore not only reduces agricultural waste but also enhances the functional value of the final formulation.

2. Antioxidant content and antioxidant activity analysis results.

The antioxidant compound analysis results are presented in Table 3, encompassing total phenolic contents, total flavonoid contents, vitamin E contents, and polysaccharide contents. Antioxidant compound concentrations in mycelium (MC) extracts obtained using distilled water as solvent were predominantly higher than those extracted with 95% ethanol. When considering antioxidant activity assessment using DPPH and 1,10-phenanthroline methods, crude extracts obtained using distilled water (WT) as solvent demonstrated superior antioxidant capacity compared to those extracted with 95% ethanol (ET). Antioxidant capacity represents the ability to accept electrons from free radicals, thereby converting free radicals into their oxidized forms. Consequently, extracts with high antioxidant compound concentrations typically exhibit superior antioxidant activity. In this study, antioxidant activity testing using DPPH and 1,10-phenanthroline methods yielded consistent results, with *Cordyceps* extracts prepared using distilled water demonstrating higher DPPH and 1,10-phenanthroline scavenging activities compared to extracts obtained with 95% ethanol solvent. These findings indicate that *Cordyceps* extracts exhibit excellent reducing agent efficiency, which is consistent with the research of Dong et al. (2024) [10], who investigated antioxidant compounds in *Cordyceps militaris* mycelium and found high reducing power values in the mycelium. Furthermore, the study of Ncama et al. (2025) [29] examines solvent extraction effectiveness for *Siraitia grosvenorii* (monk fruit) antioxidants, testing water, ethanol (50-95%), methanol, and acetone across phenolic/flavonoid yields via DPPH/ABTS assays. Key finding: 95% ethanol maximizes phenolics, while water excels for flavonoids and overall activity. This confirms that extraction efficiency depends on solvent type.

In this study, water was selected as the most appropriate solvent for extracting bioactive compounds from *Cordyceps militaris* mycelium for cosmetic skincare applications. This selection is supported by several key factors. First, fungal β -glucan possesses a water-soluble structure, enabling more efficient extraction compared to ethanol, and is well-documented for its roles as a humectant and skin barrier enhancer [28]. Second, MCWT demonstrated superior antioxidant activity, with DPPH radical scavenging activity of 69.11% and 1,10-phenanthroline value of 502.55

mg/L, both exceeding those of MCET. Finally, water is recognized as a green solvent that is non-irritating and safe for topical application, unlike ethanol, which may cause skin dryness or irritation, particularly in individuals with sensitive skin.

Table 3. Analysis results of antioxidant compound content and free radical scavenging activity of *Cordyceps militaris* mycelium extract.

Sample	Total Phenolic content (mg GAE/100g dry weight)	Total Flavonoid content (mg CAE/100g dry weight)	Vitamin E content (mg vit. E/100g dry weight)	Polysaccharide content (mg/100g dry weight)	DPPH (%radical scavenging activity)	1,10-phenanthroline (mg/L of Fe ²⁺)
MCWT	16.08±0.16	49.86±0.24	7,714.41±9.86	1,692.90±1.89	69.11±0.28	502.55±0.52
MCET	14.82±0.08	83.74±2.26	1,0974.62±4.93	1,157.81±8.25	62.08±0.26	186.86±0.20

Note: Values presented as antioxidant compound content ± standard deviation.

3. Preparation of fermented rice water supplemented with *Cordyceps militaris* extract.

Results of optimal fermentation time for this research were determined from the fermentation of two rice varieties: Jasmine brown rice RD 15 (RD15) and Niao Kuang rice (NK) for 30 and 45 days. The study evaluated antioxidant activity using DPPH and 1,10-phenanthroline methods derived from *S. fibuligera* yeast metabolism. The findings demonstrated that fermented rice water at 45 days exhibited higher antioxidant activity in both assays compared to 30-day fermentation, as shown in Figure 2 and 3. From the work of Razak et al. [30], it was found that fermentation with *Amylomyces rouxii* over 18 days increased the total phenolic content from 0.03 mg GAE/g to 3.94 mg GAE/g and flavonoid content from 0.04 to 1.71 mg QE/g in broken rice. The DPPH-radical scavenging activity improved from 9.03% to 94.22% by the end of the fermentation period. Consequently, the selected fermented rice water with a 45-day fermentation period was used for subsequent qualitative and quantitative analyses.

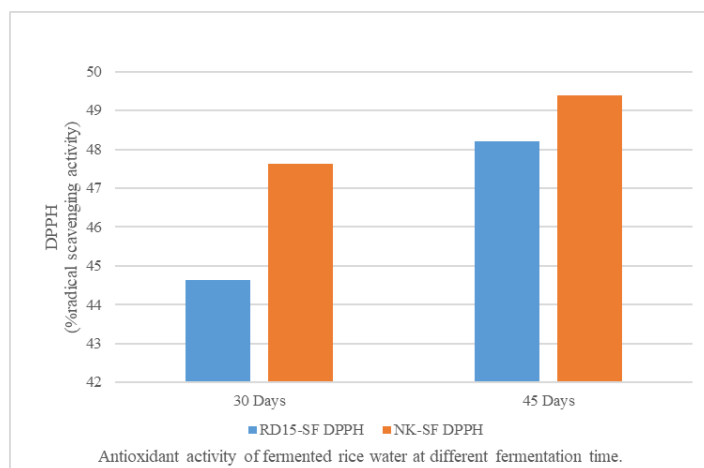


Figure 2. Antioxidant activity using DPPH method.

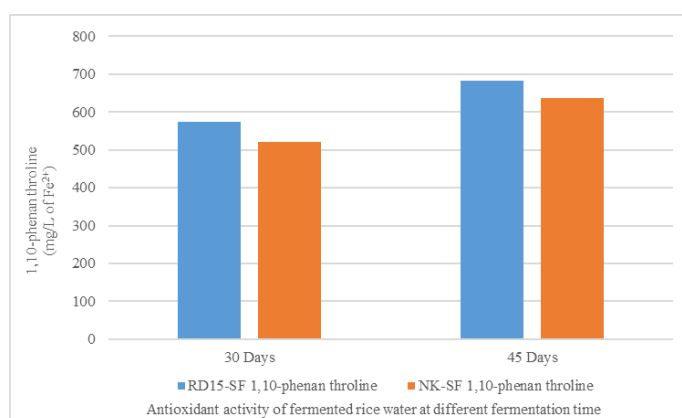


Figure 3. Antioxidant activity using 1,10-phenanthroline method.

Additionally, the acid-base characteristics of fermented rice water from Jasmine brown rice RD 15 and Niao Kuang rice using both types of yeast, and fermented rice water with added *Cordyceps militaris* mycelium extract at 45 days of fermentation, showed a pH range of 3.04 – 3.89. Color measurement results found that fermented rice water from both types of brown rice had lightness values (L*) in the range of 27 – 38, red color values (a*) in the range of -1.04 – 0.04, and yellow color values (b*) in the range of -2.90 – 2.92, indicating characteristics of a clear to light yellow solution.

4. The study of antioxidant capacity using the DPPH method and the 1,10-phenanthroline method of fermented rice water.

The study of antioxidant capacity using the DPPH method and the 1,10-phenanthroline method of fermented rice water obtained from Jasmine brown rice RD 15 and Niao Kuang rice using both types of yeast (*Saccharomyces fibuligera*, SF and *Saccharomyces cerevisiae*, SC) with the addition of *Cordyceps militaris* extract (C) and without extract addition, compared to the antioxidant capacity of *Cordyceps militaris* mycelium extracts, as shown in Figures 4 and 5.

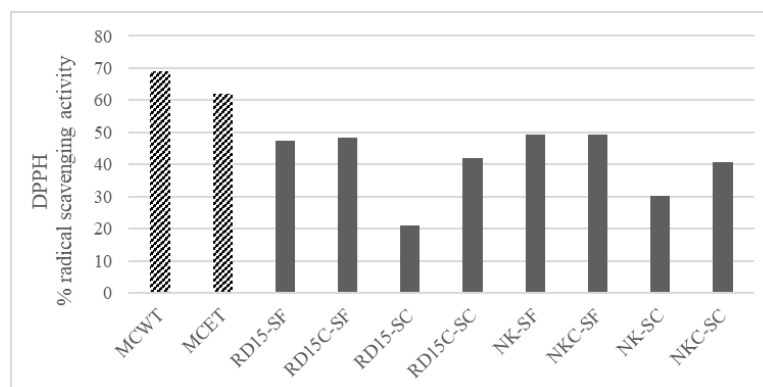


Figure 4. Percentage of antioxidant activity by DPPH radical scavenging method of fermented rice water under different conditions compared to *Cordyceps militaris* mycelium extracts.

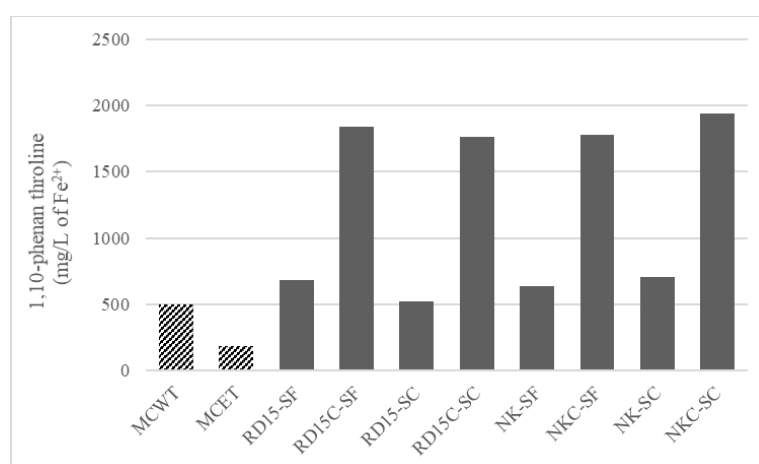


Figure 5. Percentage of antioxidant activity by 1,10-phenanthroline method of fermented rice water under different conditions compared to *Cordyceps militaris* mycelium extracts.

The study results of antioxidant capacity using the DPPH method, comparing between 2 types of fermented rice water with and without *Cordyceps militaris* mycelium extracts, found that fermented rice water obtained from *S. fibuligera* yeast showed higher DPPH antioxidant properties than fermented rice water using *S. cerevisiae* yeast. When considering rice types, it was found that Jasmine brown rice RD 15 had lower antioxidant percentage than Niao Kuang rice, with antioxidant percentages of 47.32% and 49.40% respectively. The addition of *Cordyceps militaris* mycelium extract was able to increase the antioxidant capacity. For the antioxidant study results using the 1,10-phenanthroline method, it was found that Jasmine brown rice RD 15 showed better reducing properties than Niao Kuang rice, with Fe²⁺ amounts of 682.88 and 636.04 mg/L respectively. The *Cordyceps militaris* mycelium extract showed good reducing efficiency, which is consistent with the research of Dong et al. (2014) [31], who studied the antioxidant properties of *Cordyceps militaris* mycelium and found that *Cordyceps militaris* mycelium extract had high

reducing power values, resulting in higher Fe^{2+} amounts when the extract was mixed in. In research by Hemagiri and Sasidharan [32], it was found that fermentation compounds using *Saccharomyces cerevisiae* BY611 yeast showed good trends in anti-aging and antioxidant properties.

4. Discussion and Research Recommendations

Fermented rice water obtained from fermentation by both yeast types yielded different results. Fermentation with *Saccharomycopsis fibuligera* TISTR 5033 yeast resulted in higher antioxidant efficiency of fermented rice water compared to fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5013 yeast, which is due to the different metabolic pathways of both yeast types. Additionally, the filtrate from *S. fibuligera* fermentation contains peptide compounds called Galactomyces Ferment Filtrate, which has properties that stimulate skin cell function and inhibit melanin synthesis. The properties of fermented rice water depend on the type and strain of yeast used in the fermentation process. The addition of *Cordyceps militaris* mycelium extract to fermented rice water from both yeast strains resulted in increased antioxidant capacity, because the Cordyceps extract contains various antioxidant compounds such as phenolics, flavonoids, and vitamin E, etc. Fermentation outcomes in rice water vary significantly by yeast strain, with *Saccharomycopsis fibuligera* outperforming *Saccharomyces cerevisiae* in antioxidant capacity due to distinct metabolic pathways and peptide production like Galactomyces Ferment Filtrate for skin benefits.

Future studies might consider the appropriate amount of *Cordyceps militaris* mycelium extract for optimal antioxidant efficiency of *S. fibuligera*-fermented rice water. Measure antioxidant capacity (DPPH, ABTS, FRAP), peptide content, and skin-relevant bioactivity (melanin inhibition, cell proliferation) at 24, 48, and 72 hours post-mixing.

5. Acknowledgements

This research is part of a research project that received research funding support from the Office of the National Research Council of Thailand (NRCT) for research grant support. We would like to thank the Science Program, Faculty of Science and Technology, and the Research and Development Institute, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, for their support and facilitation of instruments, equipment, and research facilities. We also thank the Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University, for their other support.

6. References

- [1] Nguyen, P. D. T., Truong, N. B., & Lao, T. D. (2024). Hypoglycemic and glucose lowering properties of *Cordyceps militaris*. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v22i12.20>
- [2] Phull, A.-R., Ahmed, M., & Park, H.-J. (2022). *Cordyceps militaris* as a bio functional food source: Pharmacological potential, anti-inflammatory actions and related molecular mechanisms. *Microorganisms*, 10(2), 405. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020405>
- [3] Wang, L., Li, G., Tian, X., Shang, Y., Yan, H., Yao, L., & Hu, Z. (2024). Research Progress in Understanding the Molecular Biology of *Cordyceps militaris*. *Fermentation*, 10(3), 167. <https://doi.org/10.3390/fermentation10030167>
- [4] Eiamthaworn, K., Kaewkod, T., Bovonsombut, S., & Tragoolpua, Y. (2022). Efficacy of *Cordyceps militaris* Extracts against Some Skin Pathogenic Bacteria and Antioxidant Activity. *Journal of Fungi*, 8(4), 327. <https://doi.org/10.3390/jof8040327>
- [5] Zhan, Y., Dong, C.H., & Yao, Y.J. (2006). Antioxidant Activities of Aqueous Extract from Cultivated Fruit-bodies of *Cordyceps militaris* (L.) Link In Vitro. *J. Inte. Plant Biol*, 48(11), 1365-1370.
- [6] Kanlayavattanukul, M., & Lourith, N. (2023). *Cordyceps militaris* polysaccharides: Preparation and topical product application. *Fungal Biology and Biotechnology*, 10(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40694-023-00150-5>
- [7] Pintathong, P., Chomnunti, P., Sangthong, S., Jirarat, A., & Chaiwut, P. (2021). The Feasibility of Utilizing Cultured *Cordyceps militaris* Residues in Cosmetics: Biological Activity Assessment of Their Crude Extracts. *Journal of Fungi*, 7(11), 973. <https://doi.org/10.3390/JOF7110973>
- [8] Cha, J.-Y., Yang, H.-J., Park, M.-Y., Choi, S.-T., Moon, H.-I., & Cho, Y.-S. (2011). Melanogenesis effect of *Cordyceps militaris* culture broth on the melanin formation of B16F0 melanoma cells. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 1–8. <https://doi.org/10.3109/08923973.2011.611810>
- [9] Wang S, Wang C, Cao H, Cui X, Guo H, Zheng W, Zhong X, Zhang Y, Han C. Comparing the Cosmetic Effects of Liquid-Fermented Culture of Some Medicinal Mushrooms Including Antioxidant, Moisturizing, and Whitening Activities. *Int J Med Mushrooms*. 2020;22(7):693-703. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.2020035407. PMID: 32865926.
- [10] Dong, Y., Wang, T., Gan, B., Wasser, S. P., Zhang, Z., Zhao, J., Duan, X., Cao, L., Feng, R., Miao, R., Yan, J., & Wu, Z. (2024). Antioxidant activity of *Phellinus igniarius* fermentation mycelia: Contributions of different solvent extractions and their inhibitory effect on α -amylase. *Heliyon*, 10(1), 23370. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e23370>

-
- [11] Torres-Martínez, B. del M., Vargas-Sánchez, R. D., Torrescano-Urrutia, G. R., & Sánchez-Escalante, A. (2025). Actividad antioxidante y antibacteriana de extractos obtenidos del micelio de *Pleurotus ostreatus* cultivado con residuos agroindustriales [Antioxidant and antibacterial activity of extracts obtained from *Pleurotus ostreatus* mycelium grown with agroindustrial wastes]. *Acta Botanica Mexicana*, 132. <https://doi.org/10.21829/abm132.2025>
- [12] United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. (2024, March 22). *Thailand: Grain and feed annual* (Report No. TH2024-0018).
- [13] Suebpongsang, P., Ekasingh, B., & Cramb, R. (2020). *Commercialisation of Rice Farming in Northeast Thailand* (pp. 39–68). Palgrave Macmillan, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0998-8_2.
- [14] Sooklim, C., Paemanee, A., Ratanakhanokchai, K., Wiwatratan, D., & Soontorngun, N. (2025). Integrated omic analysis of a new flavor yeast strain in fermented rice milk. *FEMS Yeast Research*, 25, Article foaf017. <https://doi.org/10.1093/femsyr/foaf017>
- [15] Walker, G. M., & Stewart, G. G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae in the Production of Fermented Beverages*. 2(4), 30. <https://doi.org/10.3390/BEVERAGES2040030>
- [16] Gómez-Pliego, R., Raya, J., Ríos-Guerra, H., & Temis-Cortina, J. A. (2025). *Microbial Fermentation: From Food Tradition to Cutting-Edge Biotechnology*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1012273>
- [17] Dong, W., Peng, Y., Ma, J., Hu, Y., Chen, S., & Zhao, S. (2025). Yeasts in traditional Baijiu fermentation: Diversity, functions, microbial interactions and applications. *Frontiers in Microbiology*, 16, Article 1652173. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1652173>
- [18] Mirzaei, M., Shavandi, A., Mirdamadi, S., Soleymanzadeh, N., Motahari, P., Mirdamadi, N., Moser, M., Subra, G., Alimoradi, H., & Goriely, S. (2021). Bioactive peptides from yeast: A comparative review on production methods, bioactivity, structure-function relationship, and stability. *Trends in Food Science and Technology*, 118, 297–315. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.10.008>
- [19] Faizah, F., & Paramadini, A. W. (2023). Enhancement of Antioxidant and Colon Anticancer Activity from Fermented Rice Bran Extract. *Jurnal Eduhealth*, 14(3), 1202–1208. <https://doi.org/10.54209/jurnaleduhealth.v14i3.2597>
- [20] Huang, L., Li, Q., Chen, Y., Wang, X., & Zhou, X. (2009). Determination and analysis of cordycepin and adenosine in the products of *Cordyceps* spp. *African Journal of Microbiology Research*, 3(12), 957–961.
- [21] Matthayom, W., Nochai, K., KoKaew, K., Pisapak, K., & Robmuang, D. (2020). Investigation of antioxidant capacity and antioxidant activity of Ma-huad (*Lepisanthes rubiginosa* (Roxb.) Leenh.) juice. *RMUTSB Academic Journal*, 8(2), 187-198.

-
- [22] Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, 150, 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>
- [23] Bucci, R., Magri, A. D., Magri, A. L., & Marini, F. (2003). Comparison of three spectrophotometric methods for the determination of gamma-oryzanol in ricebran oil. *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 375(8), 1254-1259.
- [24] Masuko, T., Minami, A., Iwasaki, N., Majima, T., Nishimura, S.-I., & Lee, Y. C. (2005). Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format. *Analytical Biochemistry*, 339(1), 69–72. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2004.12.001>
- [25] Szydlowska-Czerniak A, Karlovits G, Dianoczki C, Recseg K & Szlyk E. (2008). Comparison of two analytical methods for assessing antioxidant capacity of rapeseed and olive oils. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 85, 141-149.
- [26] Thananusak, R., Laoteng, K., Raethong, N., Zhang, Y., & Vongsangnak, W. (2020). Metabolic Responses of Carotenoid and Cordycepin Biosynthetic Pathways in *Cordyceps militaris* under Light-Programming Exposure through Genome-Wide Transcriptional Analysis. *Biology*, 9(9), 242. <https://doi.org/10.3390/BIOLOGY9090242>
- [27] Singpoonga, N., Rittiron, R., Seang-On, B., Chaiprasart, P., & Bantadjan, Y. (2020). Determination of adenosine and cordycepin concentrations in *Cordyceps militaris* fruiting bodies using near-infrared spectroscopy. *ACS Omega*, 5(42), 27235-27244. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03403>
- [28] Sousa, P., Tavares-Valente, D., Amorim, M., Azevedo-Silva, J., Pintado, M., & Fernandes, J. (2023). β -Glucan extracts as high-value multifunctional ingredients for skin health: A review. *Carbohydrate Polymers*, 322, 121329. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121329>
- [29] Ncama, K., Malele, J., Govender, D. M., Anumanthoo, T., & Moyo, M. (2025). Effectiveness of common extraction solvents in obtaining antioxidant compounds from African medicinal plants. *Antioxidants*, 14(12), 1498. <https://doi.org/10.3390/antiox14121498>
- [30] Razak, D. L., Rashid, N. Y., Jamaluddin, A., Ghani, A., & Manan, M. A. (2021). *Antioxidant activities, tyrosinase inhibition activity and bioactive compounds content of broken rice fermented with Amylomyces rouxii*, 5, 65–72.
- [31] Dong, C., Yang, T., & Lian, T. (2014). A comparative study of the antimicrobial, antioxidant, and cytotoxic activities of methanol extracts from fruit bodies and fermented mycelia of caterpillar medicinal mushroom *Cordyceps militaris* (Ascomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(5), 485–495. <https://doi.org/10.1615/intjmedmushrooms.v16.i5.70>
- [32] Hemagirri, M., & Sasidharan, S. (2022). In vitro antiaging activity of polyphenol rich *Polyalthia longifolia* (Annonaceae) leaf extract in *Saccharomyces cerevisiae* BY611 yeast cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 290, 115110. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115110>

การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิงร่วมกับสะเต็มศึกษา
เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

THE DEVELOPMENT OF PROJECT- BASED LEARNING VIA CLOUD LEARNING
INTEGRATED WITH STEAM EDUCATION TO ENHANCE CREATIVE WORK SKILLS
OF GRADE 6 STUDENTS

วันดี พันธุ์โท¹, จรินทร์ อุ่มไกร^{*1}, ไกยสิทธิ์ อภิระติง¹

Wandee Phantho¹, Charinthorn Aumgri^{*1}, Kaiyasith Apirating¹

^{*1} สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

^{*1} Department of Computer Education Faculty of Science and technology

Nakhon Pathom Rajabhat University

* E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): charinthorn@webmail.npru.ac.th

วันที่รับบทความ 22 มีนาคม 2569 วันที่ไขบทความ 10 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาและประเมินผลของกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิงร่วมกับสะเต็มศึกษา 2) พัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 รวมทั้งเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 3) ความสามารถในการด้านทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน และ 4) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมดังกล่าว กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านคลองหลวง จำนวน 17 คน ซึ่งได้รับการเลือกโดยใช้การเลือกสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ สื่อการสอนผ่าน Google Site แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์แบบวัดทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน แบบสอบถามความพึงพอใจ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาและการทดสอบ t-test ผลการวิจัยพบว่า กิจกรรมที่พัฒนามีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.41/77.45 สูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมในระดับดีมาก

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน; คลาวด์เลิร์นนิง; สะเต็มศึกษา; ทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน

ABSTRACT

The objective of this research were 1) to development of project-based learning via cloud learning integrated with steam education to enhance creative work skills of grade 6 students. 2) to develop creative product design skills among Grade 6 students and to compare their learning achievement. 3) to examine students' enhance creative work skills. 4) to investigate students' satisfaction toward the learning activities. The sample consisted of Grade 6 students from Bankoungluang School, selected through cluster sampling. The research instruments included lesson plans, instructional media delivered via Google Sites, a learning achievement test, a creative work skills assessment, and a student satisfaction questionnaire. Data were analyzed using descriptive statistics and a t-test. The results indicated that the developed learning activities achieved an efficiency of 79.41/77.45, which exceeded the predetermined criterion of 75/75 Furthermore, students' post-learning achievement and creative work skills were significantly higher than their pre-learning levels at the .05 level of statistical significance. In addition, the students reported a very high level of satisfaction with the learning activities.

Keywords: project-based learning; cloud learning; steam education; creative work skills

1. บทนำ

ประเทศไทยในศตวรรษที่ 21 กำลังเผชิญกับความท้าทายในการพัฒนาทุนมนุษย์ให้สามารถปรับตัวและสร้างนวัตกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ สถานศึกษาจึงมีบทบาทสำคัญในการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นทักษะแห่งอนาคต โดยเฉพาะทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานซึ่งเป็นหนึ่งในทักษะสำคัญในการสร้างนวัตกรรมและการแก้ปัญหาในชีวิตจริง [1] หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มีการเปลี่ยนแปลงมาตรฐาน การเรียนรู้และตัวชี้วัด โดยเพิ่มสาระเทคโนโลยีที่เน้นการเรียนรู้แบบบูรณาการระหว่างวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีกับกระบวนการเชิงวิศวกรรม [2] อีกทั้งสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาทักษะของผู้เรียนให้ดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างมีคุณภาพในศตวรรษที่ 21 ให้เหมาะสมกับยุคที่เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทต่อการดำรงชีวิตสู่หลักสูตรวิทยาการคำนวณ ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนในศตวรรษที่ 21 เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการการศึกษา ซึ่งให้ผู้เรียนมีสิทธิได้รับการพัฒนาขีดความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษาในโอกาสแรก ที่ทำได้เพื่อให้มีความรู้และทักษะเพียงพอที่จะใช้เทคโนโลยี เพื่อการศึกษาในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองได้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต ส่งผลให้กระบวนการทางการศึกษามีการปรับเปลี่ยนเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้สอดคล้องกับความสำเร็จก้าวหน้า ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาความสามารถของผู้เรียน ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง แสดงการค้นพบ ค้นคว้าและสร้างเป็นผลงาน แสดงความสามารถผ่านสื่อโดยอาศัยความสามารถทางเทคโนโลยี อุปกรณ์การสื่อสารต่าง ๆ ที่ถ่ายทอดได้อย่างรวดเร็ว [3]

การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (Project-Based Learning) เป็นแนวทางหนึ่งที่ได้รับ การยอมรับว่า ส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้ผ่านการลงมือทำจริง มีเป้าหมายในการสร้างชิ้นงานหรือแก้ปัญหา

โดยนักเรียนมีส่วนร่วมในการวางแผน ค้นคว้า ทดลอง และสะท้อนผลการเรียนรู้ โครงงานเป็นฐานช่วยพัฒนาทักษะ การคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการสื่อสารได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงาน เป็นฐานยังส่งเสริมการเรียนรู้แบบร่วมมือ รวมทั้งได้เรียนรู้ทักษะ ทางสังคมและการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ โครงงานเป็นฐาน เป็นการเรียนรู้ที่จัดประสบการณ์ในการปฏิบัติงานให้แก่ผู้เรียนเหมือนกับการทำงานในชีวิตจริง อย่างเป็นระบบ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีประสบการณ์ตรง ได้เรียนรู้วิธีการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ ใช้วิธีการ หาความรู้ความจริงอย่างมีเหตุผล ผู้เรียนจะได้ออกแบบประดิษฐ์ชิ้นงาน ทำการทดลอง ทดสอบประสิทธิภาพ ได้พิสูจน์สิ่งต่าง [4]

อีกทั้งคลาวด์เลิร์นนิง (Cloud Learning) จึงกลายเป็นทางเลือกสำคัญที่ช่วยในการเชื่อมโยงการเรียนรู้ ทุกที่ทุกเวลา จากการใช้เครื่องมือดิจิทัล และผ่านแพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์ต่าง ๆ ที่เอื้อให้เกิดการทำงานกลุ่ม การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และการพัฒนาชิ้นงานร่วมกัน [5] คลาวด์เลิร์นนิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีลักษณะของการ ทำงานของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ต ที่ให้บริการใดบริการหนึ่งกับผู้ใช้โดยผู้ให้บริการจะแบ่งปัน ทรัพยากรให้กับผู้ต้องการใช้งานนั้น สามารถเข้าถึงได้ทุกที่ ทุกเวลาตามความต้องการของผู้ใช้เพียงแค่เชื่อมต่อ กับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

สะเต็มศึกษา (STEAM Education) เป็นการบูรณาการศาสตร์แห่งการเรียนรู้ในแขนงวิชาของ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกันจึงเป็นการศึกษาที่ทันสมัยและส่งเสริม ให้นักเรียนเกิดทักษะการคิด และฟังความคิดเห็นอื่น ๆ สร้างฐานความรู้ที่อยู่นอกขอบเขตของการสอบ ในศตวรรษที่ 20 นวัตกรรมส่วนใหญ่อาศัยความสามารถของผู้คนที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องของวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีวิศวกรรม และคณิตศาสตร์หรือสะเต็มศึกษา ซึ่งปัจจุบันได้เปลี่ยนโฉมในเชิงบวกที่ต้องดำเนินการเพื่อตอบสนองความต้องการ ของเศรษฐกิจในศตวรรษที่ 21 โดยเพิ่มความสามารถของศิลปะเข้าไปอยู่ในแขนงวิชาที่จะบูรณาการศาสตร์เข้า ด้วยกันอีกด้วย ดังนั้นสะเต็มศึกษาจึงถูกพัฒนามาจากสะเต็มศึกษา [6]

ผู้วิจัยได้สำรวจสภาพปัญหาด้านการสร้างสรรค์ชิ้นงานของนักเรียนจากครูผู้สอนในโรงเรียนกลุ่มส่งเสริม สามัคคี โดยอาศัยข้อมูลจากการประชุมแลกเปลี่ยนเรียนรู้และการพูดคุยระหว่างครูผู้สอนในแต่ละโรงเรียน ควบคู่ กับการรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ การตรวจชิ้นงาน และบันทึกหลังการสอน พบว่า นักเรียน ส่วนใหญ่ยังขาดทักษะในการออกแบบและสร้างสรรค์ชิ้นงานด้วยตนเอง ส่วนใหญ่ยังต้องการคำแนะนำจากครู หรือเลียนแบบตัวอย่างที่กำหนดให้ ส่งผลให้ผลงานมีลักษณะคล้ายคลึงกันและขาดความหลากหลาย นอกจากนี้ นักเรียนบางส่วนยังขาดทักษะในการใช้เทคโนโลยีเพื่อการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ตลอดจนขาดความมั่นใจในการแสดง ความคิดเห็นและการแสดงออกทางความคิดของตนเอง ซึ่งจากความสำคัญและสภาพปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึง มีแนวคิดในการจัดการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิงร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะ การสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มาร่วมสนับสนุนการเรียนการสอนให้เกิด ประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงรูปแบบการสอนวิธีการสอน สื่อ แหล่งเรียนรู้ที่เหมาะสมสอดคล้องกับบริบทของโรงเรียน และผู้เรียนสามารถเข้าถึงบทเรียนได้อย่างสะดวก มีการเสริมแรงต่อการตอบสนองที่ถูกต้องเพื่อให้ผู้เรียนเกิดความ กระตือรือร้นสนใจที่จะเรียน และสร้างบรรยากาศการเรียนให้น่าสนใจมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียน

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิงร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (Project – Based Learning)

การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง โดยเริ่มจากการตั้งคำถามหรือปัญหาแล้ววางแผน ดำเนินการ และสรุปผลผ่านกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบจนเกิดความรู้และทักษะจากการลงมือทำ [7]

ในประเทศไทยการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงานเป็นฐาน ยังได้รับอิทธิพลจาก แนวคิด Active Learning ที่เน้นการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติจริง โดยส่งเสริมให้ครูไทยใช้กิจกรรมที่เน้นการมีส่วนร่วมของผู้เรียน และสร้างแรงจูงใจ ผ่านงานจริง เช่น การทำโครงงานบูรณาการ เพื่อพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน มีวิธีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่ยึดนักเรียน เป็นสำคัญ ใช้ประเด็นปัญหา เหตุการณ์กระตุ้นให้นักเรียนประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติจริง และลงมือปฏิบัติด้วยตนเองตามความถนัด ความสามารถ และความสนใจ โดยมีการศึกษาอย่างเป็นระบบและมีขั้นตอน ตั้งแต่เลือกหัวข้อที่จะศึกษา รวบรวมข้อมูล กำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน และนำเสนอผลงาน [8]

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเด็นการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า รูปแบบการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน ส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ที่มีความหมายโดยการให้ผู้เรียนเผชิญกับสถานการณ์หรือปัญหาที่ซับซ้อนและสอดคล้องกับบริบทชีวิตจริง นักเรียนต้องร่วมกันค้นหาความรู้เพื่อแก้ปัญหา โดยมีครูทำหน้าที่เป็นผู้ชี้แนะ มากกว่าการถ่ายทอดความรู้โดยตรง ซึ่งช่วยพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 อย่างชัดเจน และส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้เชิงรุกทำให้การจัดการเรียนรู้ในลักษณะนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในการศึกษาขั้นพื้นฐานและการศึกษาที่เน้นทักษะการเรียนรู้เชิงบูรณาการในยุคปัจจุบัน

2.2 ความหมายของคลาวด์เลิร์นนิง (Cloud Learning)

คลาวด์เลิร์นนิง เป็นเทคโนโลยีที่มีลักษณะของการทำงานของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ต ที่ให้บริการใดบริการหนึ่งกับผู้ใช้โดยผู้ให้บริการจะแบ่งปันทรัพยากรให้กับผู้ต้องการใช้งานนั้น สามารถเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลาตามความต้องการของผู้ใช้เพียงแค่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [5]

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของคลาวด์เลิร์นนิง (Cloud Learning) ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า เป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่อาศัยเทคโนโลยีคลาวด์เป็นศูนย์กลางในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงเนื้อหา สื่อการสอน และมีปฏิสัมพันธ์กับครูและเพื่อนร่วมเรียนได้ทุกที่ทุกเวลา ผ่านอุปกรณ์ดิจิทัลที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยผู้ให้บริการจะจัดสรรและแบ่งปันทรัพยากรดิจิทัลเพื่อรองรับการใช้งานอย่างยืดหยุ่นและไร้ข้อจำกัดด้านเวลาและสถานที่

2.3 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEAM EDUCATION)

สะเต็มศึกษา เป็นการบูรณาการองค์ความรู้จาก 5 สาขาหลัก ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science), เทคโนโลยี (Technology), วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering), ศิลปะ (Arts) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) เข้าด้วยกัน โดยมีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 เช่น การคิดเชิงสร้างสรรค์ การแก้ปัญหา การสื่อสาร และการทำงานร่วมกัน [9]

สะเต็มศึกษา หมายถึง การจัดการเรียนรู้โดยอาศัยการบูรณาการความรู้จากศาสตร์ด้านต่าง ๆ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ คณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ควบคู่ไปกับความรู้เชิงวิชาการ ให้นักเรียนเกิดความรู้ และประสบการณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิตประจำวัน [10]

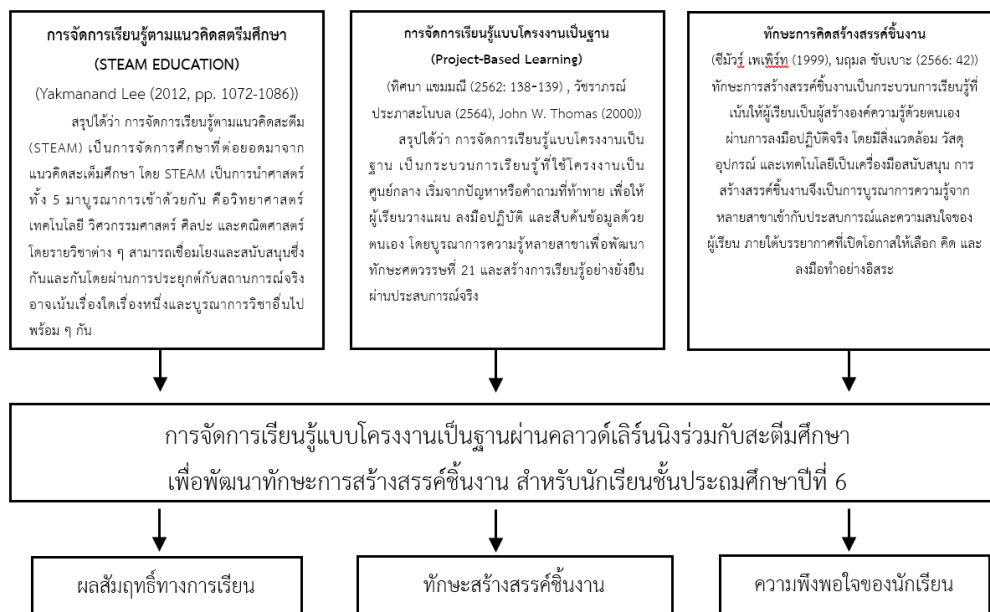
จากการศึกษาความหมายของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของสะเต็มศึกษา ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า แนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (STEAM Education) เป็นการบูรณาการองค์ความรู้จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์อย่างมีระบบ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้แบบข้ามสาขา โดยเชื่อมโยงความรู้เชิงวิชาการกับทักษะเชิงสร้างสรรค์ ผ่านการปฏิบัติจริงที่สัมพันธ์กับชีวิตประจำวันของผู้เรียน

2.4 ทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน

การสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยการสามารถสร้างสรรค์ชิ้นงานเป็นทฤษฎีทางการศึกษาที่มีพื้นฐานแนวคิดให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองจากการปฏิบัติในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและเหมาะสมกับนักเรียน โดยอาศัยวัสดุสื่อเทคโนโลยีในการสร้างชิ้นงานออกมาเป็นรูปธรรมจึงจะเกิดการเรียนรู้ ครูทำหน้าที่เป็นผู้สร้างบรรยากาศและสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้ ตลอดจนอำนวยความสะดวก ชี้แนะ ส่งเสริมสนับสนุน กระตุ้นให้นักเรียนกระตือรือร้นในการคิดและทำกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้มากที่สุด [11]

จากการศึกษาความหมายของของทฤษฎีการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า ทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง โดยมีสิ่งแวดล้อม วัสดุ อุปกรณ์ และเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสนับสนุน การสร้างสรรค์ชิ้นงานจึงเป็นการบูรณาการความรู้จากหลายสาขาเข้ากับประสบการณ์และความสนใจของผู้เรียน ภายใต้บรรยากาศที่เปิดโอกาสให้เลือกคิด และลงมือทำอย่างอิสระ อีกทั้งครูมีบทบาทเป็นผู้เอื้ออำนวยและชี้แนะ กระบวนการนี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาทักษะการคิดเชิงสร้างสรรค์ การแก้ปัญหา และการเชื่อมโยงความรู้ไปสู่การสร้างผลงานที่มีคุณค่าและยั่งยืน

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ โดยใช้โครงงานเป็นฐาน คลาวด์เลิร์นนิ่ง และ สะเต็มศึกษา ได้ออกแบบกรอบแนวคิดในการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งกรอบแนวคิดการวิจัยสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

จากกรอบแนวคิดการวิจัยสามารถอธิบายขั้นตอนการเรียนรู้ของการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ครูให้ความรู้พื้นฐาน ขั้นตอนนี้ครูจะเป็นผู้ให้ความรู้พื้นฐานในการใช้โปรแกรมการใช้ระบบคลาวด์เลิร์นนิ่งในการเรียนรู้แก่นักเรียน พร้อมทั้งสาธิตการสร้างสรรค์ชิ้นงานต่าง ๆ ให้แก่นักเรียน โดยครูจะให้เวลานักเรียนในการเรียนรู้และทดลองปฏิบัติ ซักถามข้อมูลการใช้โปรแกรมและแหล่งข้อมูลต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการดำเนินงาน หลังจากนักเรียนมีพื้นฐานการใช้โปรแกรมและระบบ ครูให้นักเรียนร่วมกันวางแผนการดำเนินโครงงาน ทั้งในด้านของการใช้รูปแบบ วิธีการ เนื้อหา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานอย่างเป็นระบบ

ขั้นตอนที่ 3 ลงมือปฏิบัติ ผู้เรียนดำเนินงานตามแผนที่กำหนดไว้อย่างจริงจังผ่านการค้นคว้า ทดลองเก็บข้อมูล วิเคราะห์ และสร้างชิ้นงาน ครูมีบทบาทในการสนับสนุนและให้คำปรึกษาเมื่อต้องการ

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบและประเมินผล เมื่อนักเรียนจัดทำชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ให้นักเรียนในกลุ่มร่วมกันตรวจสอบผลงานสิ่งที่ค้นพบ ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะ เพื่อสะท้อนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้น และเตรียมนำเสนอผลงาน

ขั้นตอนที่ 5 นำเสนอผลงาน นักเรียนได้นำเสนอผลงานต่อเพื่อน ครู ผ่านระบบคลาวด์เลิร์นนิ่ง พร้อมทั้งรับฟังข้อเสนอแนะจากเพื่อน ๆ และครู

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พริญา สุขชีวรรณ [5] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนรู้บนคลาวด์เลิร์นนิ่งแบบสเต็ม เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนอาชีวศึกษา สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้ผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งแบบสเต็มเป็นแนวทาง

ที่บูรณาการความรู้และทักษะผ่านกิจกรรมเชิงปฏิบัติ ผู้เรียนสามารถเข้าถึงเนื้อหาและทำงานร่วมกันผ่านเครื่องมือดิจิทัล เช่น Google Classroom และแพลตฟอร์มออนไลน์ต่าง ๆ ผ่านกระบวนการเรียนรู้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ วิเคราะห์ ค้นหา ออกแบบ พัฒนา ประเมิน และนำเสนอผลงาน แนวทางนี้เน้นให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติจริงและสร้างชิ้นงานด้วยตนเองช่วยพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ ความคิดสร้างสรรค์ และการทำงานร่วมกันเป็นการเรียนรู้แบบบูรณาการหลายศาสตร์ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความภาคภูมิใจในผลงานของตนเอง

พนารัตน์ พิมพ์พัฒน์ [12] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลการสร้างสรรค์ผลงานศิลปะและการเห็นคุณค่าในตนเองโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEAM Education) ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ผลการวิจัยพบว่า ผลประเมินการสร้างสรรค์ผลงานศิลปะของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 หลังการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEAM Education) โดยภาพรวม นักเรียนมีผลคะแนนเฉลี่ยผลการประเมินการสร้างสรรค์ผลงานศิลปะอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 2.84$, S.D. = 0.10) การเห็นคุณค่าในตนเอง อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 2.66$, S.D. = 0.09) ผลระดับความพึงพอใจจากการร่วมกิจกรรม อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 2.63$, S.D. = 0.37)

อณรรี ศิลางัด [13] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ รายวิชาวิทยาศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยการวิจัยนี้มุ่งพัฒนาความสามารถด้านความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในรายวิชาวิทยาศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุกเป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการเรียนรู้ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินักเรียนมีความคิดเห็นต่อการเรียนรู้เชิงรุกในระดับมากและมีทัศนคติที่ดีต่อการเรียน

สัตตบุษย์ จรทอง [14] ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ศูนย์ส่งเสริมการเรียนรู้อำเภอไทรโย่ง จังหวัดตรัง การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนโดยใช้การเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานและเปรียบเทียบเจตคติที่มีต่อรายวิชาวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียนกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นในจังหวัดตรังผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญนอกจากนี้ เจตคติของนักเรียนต่อวิชาวิทยาศาสตร์หลังเรียนดีขึ้นกว่าก่อนเรียนแสดงให้เห็นว่าการเรียนรู้แบบโครงงานช่วยพัฒนาทั้งทักษะและทัศนคติของผู้เรียน

ปัทมา จงลือชา [12] ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยการออกแบบ 6E ตามแนวคิดสเต็ม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบ 6E ตามแนวคิดสเต็มต่อผู้เรียนระดับประถมศึกษา โดยเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับเกณฑ์ที่กำหนด และเปรียบเทียบความคิดสร้างสรรค์ก่อนและหลังเรียนรวมถึงศึกษาความสามารถในการสร้างสรรค์ผลงานของนักเรียนผลการวิจัยพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและนักเรียนมีความสามารถในการสร้างสรรค์ผลงานอยู่ในระดับดี

Marcel Pikhart [15] ศึกษาว่าการเรียนรู้แบบดิจิทัลกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์หรือไม่ ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงปี 2022–2024 พบว่า การศึกษานี้มุ่งตรวจสอบผลของการเรียนรู้แบบดิจิทัลต่อความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนผลการวิจัยพบว่าการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัลมีผลเชิงบวกต่อการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์

กิจกรรมที่ใช้เทคโนโลยี เช่น เกม การโต้ตอบ และการเล่าเรื่องดิจิทัล ช่วยเสริมทักษะได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเรียนรู้แบบร่วมมือและการแก้ปัญหาในสถานการณ์จริงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาทักษะดังกล่าว ผู้เรียนสามารถสร้างผลงานและพัฒนาความคิดเชิงสร้างสรรค์ได้ดีขึ้นอย่างไรก็ตาม ควรพัฒนาเครื่องมือประเมินให้เหมาะสมกับบริบทดิจิทัลมากยิ่งขึ้น

Badriyah et al. [16] ได้พบว่า ผลการศึกษาพบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด STEAM ช่วยให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนดีขึ้นคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าแนวทาง STEAM มีประสิทธิภาพในการพัฒนาการเรียนรู้สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าผู้เรียนในกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์สูงกว่ากลุ่มควบคุมโดยเฉพาะการจัดกิจกรรมที่เน้นการบูรณาการความรู้หลายด้าน จึงสามารถส่งเสริมการเรียนรู้และความเข้าใจของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษางานวิจัยในประเทศและต่างประเทศข้างต้น ในประเด็นการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน คลาวด์เลิร์นนิ่ง และสะเต็มศึกษา ที่นำไปใช้ในการเรียนการสอนในกลุ่มสาระต่าง ๆ ทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าสามารถนำรูปแบบการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับคลาวด์เลิร์นนิ่ง ตามแนวคิดของสะเต็มศึกษามาปรับประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนในปัจจุบันได้ เนื่องจากผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง ได้ลงมือปฏิบัติทดลอง และแก้ปัญหาด้วยตนเอง ในขณะเดียวกันยังส่งเสริมทักษะผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 และพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานของนักเรียนได้ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการวิจัยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างสรรค์ชิ้นงานและสามารถกระตุ้นแรงจูงใจและความสนใจของผู้เรียน

3. วิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยผู้วิจัยดำเนินการทดลอง ตามแบบแผนการทดลองกลุ่มเดียวจัดให้มีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน มีรูปแบบการวิจัยแบบ One Group Pretest – Posttest Design ซึ่งมีรูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการวิจัย One Group Pretest – Posttest Design

กลุ่ม	สอบก่อน	ทดสอบ	สอบหลัง
E	T ₁	X	T ₂

เมื่อ

E	แทน	กลุ่มทดลอง
T ₁	แทน	การทดสอบก่อนเรียน โดยใช้แบบทดสอบก่อนการเรียนรู้
X	แทน	การทดสอบด้วยการสอน โดยใช้รูปแบบที่พัฒนาขึ้น
T ₂	แทน	การทดสอบหลังเรียน โดยใช้แบบทดสอบหลังการเรียนรู้

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 ประชากร คือ โรงเรียนในกลุ่มส่งเสริมสามัคคี อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาสมุทรสาคร จำนวน 11 โรงเรียน

3.2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 17 คนที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2568 โรงเรียนบ้านคลองหลวง โดยใช้การเลือกแบบหลายขั้นตอนนั้นได้คัดเลือกโรงเรียนในกลุ่มส่งเสริมสามัคคีด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เนื่องจากมีบริบทด้านการจัดการเรียนรู้ที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นกำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 17 คน ซึ่งเป็นนักเรียนทั้งห้องเรียน การกำหนดกลุ่มตัวอย่างลักษณะนี้สอดคล้องกับการวิจัยในชั้นเรียนที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนในบริบทจริง และสามารถใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กได้อย่างเหมาะสม [17] โดยการใช้รูปแบบการทดลองแบบกลุ่มเดียววัดก่อน-หลัง และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่สัมพันธ์กัน [18]

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาตามรูปแบบกระบวนการของ ADDIE Model โดยมี 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ขั้นการวิเคราะห์ (Analysis)

1.1 การวิเคราะห์สภาพปัญหา และความต้องการในการเรียนการสอนในรายวิชาวิทยาการคำนวณ โดยวิธีการไปสัมภาษณ์ครูผู้สอนวิทยาการคำนวณ ในกลุ่มโรงเรียนส่งเสริมสามัคคี จำนวน 10 ท่าน เพื่อให้ทราบสภาพปัญหาและแนวทางส่งเสริมการจัดการเรียนรู้

1.2 ผู้วิจัยได้วิเคราะห์นักเรียน ความต้องการมีความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อการออกแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้และสื่อการสอนเว็บทเรียนออนไลน์

1.3 ผู้วิจัยทำการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา และการพัฒนาเว็บทเรียนออนไลน์ รวมทั้งพิจารณาถึงทรัพยากรของสถานศึกษา และอุปสรรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น

1.4 วิเคราะห์เนื้อหาที่นำมาจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา วัตถุประสงค์การเรียนรู้ และแบ่งเนื้อหาอย่างไรจึงจะเหมาะสม

1.5 วิเคราะห์รูปแบบของเว็บทเรียนออนไลน์ ให้มีสอดคล้องกับความสามารถในการใช้เทคโนโลยีของนักเรียน

2. ขั้นการออกแบบ (Design)

2.1 กำหนดเนื้อหาที่นำมาจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 สร้างแผนภูมิการระดมสมอง (Brainstorm chart) เพื่อค้นหาหัวเรื่องที่ควรจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จากการสัมภาษณ์ครูผู้สอนรายวิชาวิทยาการคำนวณ กลุ่มโรงเรียนส่งเสริมสามัคคี จำนวน 10 ท่าน ตลอดจนศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาจากเอกสารหนังสือวารสาร ตลอดจนขอคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา

2.2.2 จัดทำแผนภูมิหัวเรื่องที่สัมพันธ์กัน (concept chart) เป็นการพิจารณาประเด็นแนวคิดที่ได้จากการสัมภาษณ์ และรวบรวมหัวข้อเรื่องที่มีความสัมพันธ์ในกลุ่มเดียวกัน

2.2.3 แผนภูมิโครงข่ายเนื้อหา (content network) ใช้วิธีการเดียวกับ network analysis เป็นการกำหนดรูปแบบการไหลของเนื้อหา ซึ่งก็คือการกำหนดหัวข้อก่อนและหลังของเนื้อหา

2.2 ออกแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จากการสังเคราะห์งานวิจัยในประเทศและต่างประเทศ โดยพิจารณาจากความรู้ที่มีความสอดคล้องกัน

2.3 การออกแบบสื่อการสอนเว็บบทเรียนออนไลน์ ได้แก่ หน้าแรก คำอธิบายรายวิชา เนื้อหาบทเรียน

3. ขั้นการพัฒนา (Development)

3.1 เขียนแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 4 แผน แผนละ 2 ชั่วโมง โดยรายละเอียดในแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย ชื่อแผนการจัดการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ คุณลักษณะอันพึงประสงค์ สมรรถนะของผู้เรียน การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล สื่อ/แหล่งการเรียนรู้

3.2 พัฒนาเครื่องมือการวัดและประเมินผล ได้แก่ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน โดยผู้วิจัยนำแผนการเรียนรู้และเครื่องมือการวัดผลและประเมินผลให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ประเมินและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

3.3 สร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 30 ข้อ ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นนำไปหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน และปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

3.4 พัฒนาสื่อการสอนเว็บบทเรียนออนไลน์ แล้วนำไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบเป็นระยะเพื่อปรับปรุงแก้ไขการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ให้มีความเหมาะสม จากนั้นนำการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประเมินและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

3.5 พัฒนาแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน

4. ขั้นการนำไปใช้ (Implementation)

4.1 การประเมินแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one to one evaluation) ลักษณะการประเมินเป็นการร่วมกิจกรรมเพื่อทดสอบคุณภาพของสื่อการนำเสนอ โดยใช้นักเรียนจากประชากรจำนวน 3 คน แล้วนำผลที่ได้หาประสิทธิภาพเสร็จแล้วนำมาปรับปรุง

4.2 การประเมินแบบกลุ่มเล็ก (small group evaluation) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงโดยไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่ประชากร จำนวน 9 คน จากนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 และนำข้อบกพร่องมาปรับปรุงก่อนนำไปใช้จริง

4.3 การทดลองภาคสนาม (field trial) โดยนำกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล ร่วมกับสื่อการสอนเว็บบทเรียนออนไลน์ไปใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่ประชากร เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนก่อนนำไปใช้จริงรวมทั้งนำข้อบกพร่องมาปรับปรุงก่อนนำไปใช้จริง

5. ขั้นตอนการประเมินผล (Evaluation)

ผู้วิจัยนำกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล ร่วมกับสื่อการสอนเว็บบทเรียนออนไลน์ทดลอง กับกลุ่มทดลองจนอยู่ในเกณฑ์ 75/75 เก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน ทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน และหาค่าความพึงพอใจ

4. ผลการวิจัย

4.1 คุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพแผนการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

เรื่องที่ประเมิน	$\bar{X}$	S.D	ระดับ
1. เนื้อหา			
1.1 วัตถุประสงค์มีความชัดเจน	5.00	0.00	ดีมาก
1.2 ความสอดคล้องระหว่างเนื้อหากับวัตถุประสงค์	5.00	0.00	ดีมาก
1.3 ความถูกต้องของเนื้อหา	5.00	0.00	ดีมาก
1.4 ความเหมาะสมของเนื้อหากับระดับของผู้เรียน	5.00	0.00	ดีมาก
2. แบบทดสอบ			
2.1 ความชัดเจนของคำสั่งแบบทดสอบ	5.00	0.00	ดีมาก
2.2 ความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับเนื้อหา	5.00	0.00	ดีมาก
2.3 จำนวนข้อสอบแบบทดสอบ	4.60	0.55	ดีมาก
2.4 ชนิดของแบบทดสอบที่เลือกใช้	4.80	0.45	ดีมาก
เฉลี่ย	4.92	0.12	ดีมาก

จากตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 พบว่ามีค่าเฉลี่ยทุกด้านเท่ากับ 4.92 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.12 อยู่ในระดับดีมาก โดยผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาการคำนวณ จำนวน 5 ท่าน ก่อนนำแผนการเรียนการสอนไปใช้จริง เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้อง และช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานตามเป้าหมายดียิ่งขึ้น

4.2 คุณภาพการพัฒนาสื่อการสอนเว็บบทเรียนออนไลน์ ด้วยการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพของการพัฒนาสื่อการสอนเว็บออนไลน์ ด้วยการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล

เรื่องที่ประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
1. ด้านการออกแบบ	4.84	0.29	ดีมาก
2. ภาพ ภาษา เสียง	4.78	0.27	ดีมาก
3. ตัวอักษร สี	4.67	0.52	ดีมาก
4. การจัดการบทเรียน	4.61	0.50	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.73	0.36	ดีมาก

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพของการพัฒนาสื่อการสอนเว็บออนไลน์ ด้วยการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล พบว่ามีค่าเฉลี่ยทุกด้านเท่ากับ 4.73 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.36 อยู่ในระดับดีมาก โดยผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 5 ท่าน ก่อนนำสื่อบทเรียนออนไลน์ไปใช้จริง สร้างความมั่นใจในเว็บบทเรียนออนไลน์ และช่วยให้ผู้เรียนเกิดประสิทธิภาพสูงสุดตามเป้าหมายการเรียนรู้

4.3 ผลการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกิจกรรมจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ประเภทคะแนน	N	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	ประสิทธิภาพ
คะแนนระหว่างเรียน E1	17	30	23.82	1.98	79.41
คะแนนระหว่างเรียน E2	17	30	23.24	1.56	77.45

จากตารางที่ 4 พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล พบว่ามีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.41/77.45 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 75/75

4.4 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล ก่อนและหลังใช้กิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ตารางที่ 5 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล ก่อนและหลังใช้กิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ทดสอบ	คะแนนเต็ม	N	$\bar{x}$	S.D.	df	t-test	Sig*
ก่อนเรียน	30	17	12.24	1.44	16	27.78	.00
หลังเรียน	30	17	24.35	2.18			

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 5 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาการคำนวณ เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ก่อนเรียนมีค่าเฉลี่ยกับ 12.24 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.44 หลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.18 และจากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาวิทยาการคำนวณ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาการคำนวณ เรื่อง การสร้างนิทานดิจิทัล หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษาสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4.5 ผลการเปรียบเทียบทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ก่อนและหลังใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานของนักเรียน โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 75

กลุ่มทดลอง	คะแนนเต็ม	เกณฑ์ร้อยละ 75	$\bar{x}$	S.D.	df	Sig*
คะแนนทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานหลังเรียน	15	83.53	12.25	0.37	16	.00

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานของนักเรียน หลังเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 81.67 และเมื่อทดสอบสมมุติฐานพบว่า $\text{sig} < (.00 < .05)$ สรุปได้ว่านักเรียนมีทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4.6 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

รายการที่ประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
ด้านที่ 1 : กิจกรรมการจัดการเรียนรู้	4.84	0.28	ดีมาก
ด้านที่ 2 : เนื้อหา	4.81	0.26	ดีมาก
ด้านที่ 3 : บรรยากาศการจัดการเรียนรู้	4.96	0.20	ดีมาก
ด้านที่ 4 : ประโยชน์ที่ได้รับจากการจัดการเรียนรู้	4.84	0.30	ดีมาก
เฉลี่ย	4.86	0.04	ดีมาก

จากตารางที่ 7 สรุปผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 พบว่ามีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.86 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.04 อยู่ในระดับดีมาก

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 สามารถอภิปรายผลดังนี้

1. ผู้วิจัยได้พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า $\bar{X} = 4.92$, S.D. = 0.12 อยู่ในระดับดีมาก ทำให้เห็นว่าแผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมทั้งด้านเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ ที่ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนใช้องค์ความรู้และประสบการณ์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ [19] ได้กล่าวว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และความคิดสร้างสรรค์ ผ่านการบูรณาการความรู้และการลงมือปฏิบัติจริงอย่างเป็นระบบ อีกทั้งยังเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์ตรง และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และจากการพัฒนาสื่อการสอนเว็บพเรียนออนไลน์ พบว่าอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.73$, S.D. = 0.36) ช่วยให้ผู้เรียนเข้าถึงบทเรียนโดยไม่ถูกจำกัดในเรื่องของเวลาและสถานที่ โดยเฉพาะเครื่องมือที่สนับสนุนการทำงานร่วมกันแบบออนไลน์ เช่น การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและการแก้ไขงานร่วมกัน ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แบบมีปฏิสัมพันธ์ และสามารถพัฒนาชิ้นงานได้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งช่วยให้ผู้สอนและผู้เรียนมีความสัมพันธ์ที่ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ [5] ที่กล่าวว่า คลาวด์เลิร์นนิ่งเป็นเทคโนโลยีที่ให้บริการผ่านระบบอินเทอร์เน็ต โดยผู้ให้บริการสามารถแบ่งปันทรัพยากรให้แก่ผู้ใช้งาน ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงเนื้อหาและแหล่งเรียนรู้ได้ทุกที่ ทุกเวลา ตามความต้องการ เพียงเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ส่งเสริมการเรียนรู้แบบมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2568 พบว่า มีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.41/77.45 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ 75/75 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการออกแบบกิจกรรมตามกระบวนการโครงงานเป็นฐานที่มีขั้นตอนเป็นระบบ ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องและมีเป้าหมายชัดเจน ทำให้นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยระหว่างเรียนอยู่ที่ $\bar{X} = 23.82$, S.D. = 1.98 และผลการทดสอบหลังเรียนเฉลี่ย $\bar{X} = 23.24$, S.D. = 1.56 สอดคล้องกับการศึกษาของ [20] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างนวัตกรรมของผู้เรียน ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานมีความสามารถในการสร้างนวัตกรรมอยู่ในระดับดีเลิศขึ้นไป

3. การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 หลังจากเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ที่บูรณาการการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับก่อนเรียน โดยผลการทดสอบวิชาวิทยาการคำนวณแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ แสดงให้เห็นว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ $\bar{X} = 12.24$, S.D. = 1.44 ในขณะที่หลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น $\bar{X} = 24.35$, S.D. = 2.18 ซึ่งผลต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามขั้นตอนของโครงงานเป็นฐานอย่างเป็นลำดับ ได้แก่ ขั้นที่ 1 การให้ความรู้พื้นฐาน ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาที่จำเป็น ขั้นที่ 2 การวางแผนการดำเนินงาน ส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดวิเคราะห์และกำหนดแนวทางการทำงานอย่างเป็นระบบ ขั้นที่ 3 การลงมือปฏิบัติ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ขั้นที่ 4 การตรวจสอบและประเมินผล ช่วยให้ผู้เรียนได้สะท้อนคิดและปรับปรุงผลงานของตนเอง และขั้นที่ 5 การนำเสนอผลงาน เป็นการพัฒนาทักษะการสื่อสารและความคิดสร้างสรรค์ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งและสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [20] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างนวัตกรรมของผู้เรียน ผลการวิจัยพบว่า ความสามารถในการสร้างนวัตกรรมของผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานมีความสามารถในการสร้างนวัตกรรมอยู่ในระดับดีเลิศขึ้นไป

4. จากผลการประเมินทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานของนักเรียน พบว่า นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา พบว่าจากการประเมินด้วยแบบประเมินความสามารถในการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบหลังเรียน ซึ่งพบว่า จากคะแนนเต็ม 15 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 83.53 และเมื่อทดสอบสมมุติฐานพบว่า sig < .05 สรุปได้ว่านักเรียนมีทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา ช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจริง ตั้งแต่การกำหนดปัญหา การวางแผน การออกแบบ และการสร้างชิ้นงาน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในมิติของการออกแบบและการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นหัวใจของแนวคิดสะเต็มศึกษา ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิดสร้างสรรค์ชิ้นงานจากสถานการณ์จริง ผ่านการบูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์และการลงมือปฏิบัติซึ่งสอดคล้องกับ [11] ที่ได้ทำการวิจัยเรื่อง ผลการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียน

ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนสาธิตละอออุทิศ โดยพบว่า นักเรียนมีทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งยืนยันว่า การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานสามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ ทักษะใหม่ จากการทำงานกลุ่มและสามารถประยุกต์ใช้ในการสร้างสรรค์ชิ้นงานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวคิดของ [21] ที่ระบุว่ากระบวนการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานเป็นการเรียนรู้ที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ผ่านกิจกรรมหรือชิ้นงานที่มีเป้าหมายชัดเจน และเกี่ยวข้องกับความสนใจของผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดความภาคภูมิใจในผลงานของตนเอง และเกิดการเรียนรู้อย่างยั่งยืน และบูรณาการสาระการเรียนรู้ต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งจะช่วยพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะทักษะการสื่อสาร ความคิดสร้างสรรค์ และการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้การบูรณาการแนวคิดสะเต็มศึกษาที่นำการบูรณาการองค์ความรู้จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์อย่างมีระบบ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้แบบข้ามสาขา โดยเชื่อมโยงความรู้เชิงวิชาการกับทักษะเชิงสร้างสรรค์ ผ่านการปฏิบัติจริงที่สัมพันธ์กับชีวิตประจำวันของผู้เรียน ส่งผลการพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ผลดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ [22] อธิบายไว้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาอาจมีส่วนช่วยให้ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และทักษะการทำงานเป็นทีมของนักเรียนได้ เพราะการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเป็นวิธีการที่มีความหลากหลายในการแก้ปัญหา อีกทั้งมีการนำความรู้วิทยาศาสตร์มาใช้เพื่อออกแบบสร้างสรรค์ผลงานหรือชิ้นงานผ่านการใช้ศิลปะในการออกแบบผ่านกระบวนการทำงานกลุ่มของนักเรียน อีกทั้งงานวิจัยของ [16] พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด STEAM Education หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าการใช้สะเต็มศึกษาสามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่ทั้งสนุกและมีประสิทธิผล

5. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยภาพรวมผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด โดยเฉพาะในหัวข้อย่อยต่าง ๆ ได้แก่ ด้านที่ 1 กิจกรรมการจัดการเรียนรู้ พบว่า $\bar{X} = 4.84$, S.D. = 1.48 อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงว่าจุดประสงค์การเรียนรู้ที่มีความชัดเจนสอดคล้องกับเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ ส่งผลให้ผู้เรียนเข้าใจเป้าหมายของการเรียนได้อย่างถูกต้องและตรงประเด็น ด้านเนื้อหา พบว่า $\bar{X} = 4.81$, S.D. = 1.18 อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงว่าเนื้อหาของบทเรียนที่นำมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสม มีความเชื่อมโยงกับปัญหาหรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวันและสอดคล้องกับบริบทของผู้เรียน ด้านบรรยากาศการจัดการเรียนรู้พบว่า $\bar{X} = 4.96$, S.D. = 0.77 จัดอยู่ในระดับมากที่สุด นั่นหมายถึงว่าบรรยากาศการจัดการเรียนรู้ มีความน่าสนใจ สามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้ และด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการจัดการเรียนรู้ พบว่า $\bar{X} = 4.84$, S.D. = 1.09 อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงว่านักเรียนได้รับประโยชน์ที่ได้รับจากการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้ แสดงว่าการจัดการเรียนรู้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ [23] ที่ได้พัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้แนวคิดสะเต็มศึกษาร่วมกับโครงงานเป็นฐานที่ส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการสร้างสรรค์นวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า โดยภาพรวมนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีความพึงพอใจ ของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้สะเต็มศึกษา(STEAM Education) ร่วมกับโครงงานเป็นฐานอยู่ในระดับมากที่สุด

ผลการศึกษาดังกล่าวช่วยเน้นย้ำว่า การจัดกิจกรรมลักษณะนี้ช่วยเสริมทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานและสร้างแรงจูงใจให้ผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยสรุปกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้นี้สามารถตอบสนองทั้งด้านเนื้อหา วิธีการ และแรงจูงใจของนักเรียนได้อย่างครอบคลุม เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในระดับประถมศึกษาโดยเฉพาะการได้ลงมือปฏิบัติ ได้ฝึกคิด ทดลอง เรียนรู้และแก้ไขปัญหาด้วยตนเอง โดยอาศัยทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงานอย่างเป็นระบบ

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเพื่อนำไปใช้

1.1 จากการดำเนินกิจกรรมพบว่านักเรียนบางส่วนยังมีข้อจำกัดในการใช้เครื่องมือคลาวด์เลิร์นนิ่ง ดังนั้นควรเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เช่น ใช้งานง่าย มีภาษาไทย และไม่ซับซ้อน พร้อมทั้งจัดกิจกรรมเตรียมความพร้อมด้านการใช้เครื่องมือก่อนเริ่มการเรียนรู้

1.2 ในกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน พบว่า ในขั้นลงมือปฏิบัติ นักเรียนบางกลุ่มยังมีข้อจำกัดในการใช้เทคโนโลยีและการทำงานร่วมกัน ดังนั้นครูควรให้การชี้แนะอย่างใกล้ชิดควบคู่ไปกับการสร้างสรรค์ชิ้นงาน

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาการจัดการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ซึ่งในการวิจัยครั้งต่อไป นักวิชาการหรือนักวิจัยที่สนใจในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาอื่น ๆ หรืออาจวิจัยศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะและกระบวนการอื่น ๆ

2.2 ควรบูรณาการการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและแพลตฟอร์มคลาวด์ให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ร่วมกัน การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และการทำงานเป็นทีมของผู้เรียน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2562). *แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560–2579*. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา.
- [2] กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและหลักสูตรแกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ.
- [3] มะยุรีย์ พิทยาเสนีย์. (2563). แนวทางการพัฒนาสมรรถนะเทคโนโลยีดิจิทัลของนักศึกษาครู มหาวิทยาลัยราชภัฏ. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 9(1), 64-73.
- [4] ธัญญรัตน์ ศรีภูมิ. (2560). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (Project-Based Learning) เพื่อพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และความสามารถในการสื่อสารของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. *วารสารบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต*, 13(1), 163-176.

- [5] พิรญา สุขชีวรรณ. (2567). การจัดการเรียนรู้บนคลาวด์เลิร์นนิ่งแบบสตรีม เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนอาชีวศึกษา. *วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*, 11(2), 57-69.
- [6] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2563). *คู่มือการจัดการเรียนรู้ Active Learning โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (PjBL)*. กรุงเทพฯ: สพฐ. กระทรวงศึกษาธิการ.
- [7] ทิศนา ขมมณี. (2562). *ศาสตร์ของการสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 22)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] พะเยาว์ ดอกแก้ว. (2566). ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะความคิดสร้างสรรค์ในรายวิชาการช่างของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. *วารสารวิจัยเพื่อการปฏิรูปการเรียนรู้*. 6(2), 32-46.
- [9] Yakman, G. (2007). STEAM Education: An Overview of Creating a Model of Integrative Education. In *The Pupils' Attitudes Towards Technology Conference*. pp. 1-28), Academia..
- [10] ปัทมา จงลือชา. (2565). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการออกแบบ 6E (The 6E Learning by Design) ตามแนวคิดสติม (STEAM EDUCATION) [วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต] มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*.
- [11] ปิยงูร ภัทรมงคลเขตต์. (2567). *ผลการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนสาธิตลอออุทิศ [วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต] มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่*.
- [12] พนารัตน์ พิมพ์พัฒน์. (2566). การศึกษาผลการสร้างสรรค์ผลงานศิลปะและการเห็นคุณค่าในตนเองโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEAM Education) ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 22(2), 191-206.
- [13] อังณรี ศิลางัด. (2565). *การพัฒนาความสามารถในการคิดสร้างสรรค์รายวิชาวิทยาศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 [วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน]*. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [14] สัตตบุตย์ จรทอง. (2567). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์โดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ศูนย์ส่งเสริมการเรียนรู้อำเภอหนองปรือ จังหวัดตราด [วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต] มหาวิทยาลัยหาดใหญ่*.
- [15] Pikhart, M. (2024). Does digital learning stimulate creativity? *Cogent Arts & Humanities*, 11(1), 1–9.
- [16] Badriyah, N. L., Anekawati, A., & Azizah, L. F. (2020). Application of PjBL with brain-based STEAM approach to improve learning achievement of students. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 6(1), 88-100.
- [17] Creswell, J. W. (2012). *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research (4th ed.)*. Pearson.

-
- [18] Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). How to design and evaluate research In education (8th ed.). New York: Mc Graw Hill.
- [19] พันเพชร เขยแจ้. (2565). สะเต็มศึกษากับการพัฒนาเจตคติทางวิทยาศาสตร์. *วารสารเพื่อการปฏิรูปการเรียนรู้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 5(2), 70-80.
- [20] พุทธชาติ ศรีประไพ, ชมนาด เชื้อสุวรรณทวิ. (2565). การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างนวัตกรรมของผู้เรียน. *วารสารมหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 9(7), 30-43.
- [21] วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล. (2564). การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานในยุคการศึกษาใหม่. *วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 44(3), 66-78.
- [22] ศักดิ์สิทธิ์ เหมแก้ว. (2025). ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และทักษะการทำงานเป็นทีมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม*, 24(1), 11-22.
- [23] จินตหรา คำภาพักตร์, และ วิสูตร โพธิ์เงิน. (2565). การพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้แนวคิดสะเต็มศึกษาร่วมกับโครงงานเป็นฐาน เพื่อส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการสร้างสรรค์นวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 24(3), 1-15.

ผู้ช่วยฝึกการอ่านออกเสียงภาษาอังกฤษโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ผ่านเทคโนโลยี

NVIDIA Riva และ pygame

AN AI-POWERED ENGLISH PRONUNCIATION TRAINING ASSISTANT USING NVIDIA
RIVA AND PYGAME

รวินทร์ ไชยสิทธิพร

Rawin Chaisittiporn

^{*1} คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม^{*1} Faculty of Science Chandrakasem Rajabhat University

E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): rawin.ch@chandra.ac.th

วันที่รับบทความ 6 มกราคม 2569

วันแก้ไขบทความ

7 เมษายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ

30 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การอ่านออกเสียงภาษาอังกฤษได้อย่างถูกต้อง จำเป็นต้องมีการฝึกฝนเพื่อสร้างทักษะ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์จาก NVIDIA Riva ซึ่งเป็นเทคโนโลยี รู้จำเสียงและสร้างเสียงพูด มาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างมนุษย์และ คอมพิวเตอร์ โดยได้นำโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (LLM) มาใช้เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวแทนอัจฉริยะ (Agent) ผ่านการพูดคุย และได้นำ pygame มาใช้เป็นส่วนติดต่อกราฟิก ในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวรูปใบหน้า หุ่นยนต์ และได้ใช้ ROS2 เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างส่วนงานต่างๆ โดยมีเป้าหมายเพื่อการฝึกฝนการ อ่านออกเสียงภาษาอังกฤษ และการสร้างเจตคติที่ดีด้านภาษาอังกฤษ การทำงานของระบบจะลงไป ที่เครื่อง Jetson Orin NX 16GB ซึ่งเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ประหยัดพลังงานแต่มี ประสิทธิภาพการทำงานสูง ทำให้ระบบสามารถทำงานแบบที่ไม่ต้องใช้เครือข่ายได้ (off-line) ซึ่งเพิ่ม ความเร็วในการทำงานและเพิ่มความปลอดภัยให้ระบบ ต่างจากระบบงานทั่วไป ที่ทำงานบนระบบ คลาวด์ เนื่องจากระบบนั้นจะมีเวลาหน่วงในการทำงานสูง และมีความปลอดภัยต่ำกว่า จากการ ทดสอบการทำงานของระบบ พบว่าสามารถทำงานได้อย่างดี ในเวลาตอบสนองต่ำและมีความแม่นยำ ในการประมวลผลของ NVIDIA Riva ในระดับสูง สรุปได้ว่า เทคนิคของงานวิจัยนี้มีความเหมาะสม สำหรับการพัฒนาเป็นนวัตกรรมทางด้านการสนทนาของตัวแทนอัจฉริยะ ที่เป็นประโยชน์ในอนาคต เป็นอย่างมากในหลายๆด้าน

คำสำคัญ: NVIDIA Riva; โมเดลภาษาขนาดใหญ่; pygame; ROS2

ABSTRACT

Developing correct English pronunciation requires practice in order to build skill. The objective of this research is to apply artificial intelligence technology from NVIDIA Riva, which provides speech recognition and speech synthesis, as a tool for human-computer interaction. A large language model (LLM) is used to function as an intelligent agent that communicates through spoken dialogue, and pygame is employed to create a graphical interface in the form of an animated robot face. ROS2 serves as the middleware connecting the various system components. The system's goal is to support English pronunciation training and to foster positive attitudes toward English learning.

The system is designed to run specifically on the Jetson Orin NX 16GB, a small, energy-efficient yet high-performance computer. This enables the system to operate offline, without relying on a network, which improves processing speed and enhances security—unlike typical cloud-based systems that often suffer from higher latency and lower security. Testing results show that the system performs well, with low response times and high processing accuracy from NVIDIA Riva. In conclusion, the techniques presented in this research are highly suitable for developing innovative conversational intelligent agents, offering significant potential benefits across many future applications.

Keywords: NVIDIA Riva; Large Language Model; pygame; ROS2

1. บทนำ

การนำเทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ มาประยุกต์ใช้กับงานในด้านต่างๆ จะช่วยเพิ่มคุณภาพของผลงานเหล่านั้นมากกว่าเทคนิคแบบเดิม งานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีของการรู้จำเสียงอัตโนมัติ (Automatic Speech Recognition) และการสร้างเสียงพูด (Speech Synthesis) ของ NVIDIA Riva [1] มาประยุกต์ใช้ร่วมกับส่วนของโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสื่อการเรียนรู้ภาษาอังกฤษสำหรับเด็ก แบบสร้างประสบการณ์โดยตรง งานวิจัยได้นำจุดเด่นของเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ล่าสุดของ NVIDIA เข้ามาประยุกต์ เพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมด้านการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์

จากการสืบค้นงานวิจัย พบว่าส่วนใหญ่ ไม่ได้กล่าวถึงการใช้อาร์ดแวร์ เช่น Jetson ซึ่งส่วนใหญ่ จะใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน และไม่สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของการทำงานได้ เพราะไม่ได้พัฒนาโปรแกรมของตนเองขึ้นมา [2] [3] และงานส่วนใหญ่ก็ไม่ได้ใช้รูปแบบของหุ่นยนต์ในการเป็นสื่อการเรียนรู้ หากเป็นงานวิจัยที่ใช้อาร์ดแวร์ ก็จะใช้ฮาร์ดแวร์ในระดับที่ประสิทธิภาพยังไม่สูงมาก จึงต้องใช้เทคนิคการทำงานในรูปแบบของการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า [4] [5] เช่นการผสานระหว่างส่วนของ edge และ cloud ทำให้ไม่ได้ใช้จุดเด่น

ของระบบ edge อย่างเต็มที่ ได้แก่เรื่องเวลาหน่วงในระดับต่ำ (low latency) และความปลอดภัยจากการทำงานแบบเฉพาะที่ (off-line)

รูปแบบของงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยและพัฒนา โดยผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาต้นแบบของหุ่นยนต์สำหรับการสอนการอ่านออกเสียงภาษาอังกฤษ ด้วยเทคโนโลยีล่าสุดที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเรียนรู้ภาษาอังกฤษของผู้สนใจทั่วไป ระบบทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับงานด้านปัญญาประดิษฐ์ ได้แก่ Jetson Orin NX 16 GB ซึ่งใช้ซอฟต์แวร์ Jetpack เวอร์ชัน 6.0 ซึ่งมี GPU แบบ NVIDIA Ampere จำนวน 1024 core ทำให้สามารถรองรับการทำงานได้ตรงตามความต้องการ ในส่วนของซอฟต์แวร์ด้านการรู้จำเสียงอัตโนมัติ จะใช้ NVIDIA Riva ซึ่งทำงานได้ดีกว่าซอฟต์แวร์อื่นๆในประเภทเดียวกัน ระบบจะนำเสียงพูดจากไมโครโฟนที่ผ่านการรู้จำเสียงของ NVIDIA Riva จากนั้นส่งไปยังส่วนของโมเดลขนาดใหญ่ ในงานวิจัยใช้โมเดล LLaVa 1.5 7B ซึ่งมีจุดเด่นที่ขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพการตอบคำถามได้อย่างถูกต้อง

ในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้จะใช้ pygame ซึ่งเป็นไลบรารีของ Python ที่เน้นงานด้านกราฟิกและเกม โดยนำเสนอเป็นใบหน้าหุ่นยนต์ในแบบภาพเคลื่อนไหว (animation) ที่สามารถแสดงอารมณ์ได้หลายรูปแบบ และจะใช้ ROS2 เป็นส่วนของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยต่างๆของระบบ โดยจะใช้การส่งข้อมูลผ่านทาง topic ของระบบ ROS2 จุดเด่นสำคัญของงานวิจัยนี้คือการทำงานแบบไม่ต้องติดต่ออินเทอร์เน็ต (off-line) เนื่องจาก Jetson Orin NX 16 GB จะเก็บข้อมูลโมเดลในตัวเองและด้วย GPU จำนวนมาก ทำให้สามารถทำงานได้ด้วยเวลาตอบสนองไม่นานเกินไป และสะดวกต่อการใช้งานในสถานที่จริง ที่อาจจะไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต หรือสัญญาณล่าช้า

ในระบบจะมีการทำงาน 2 ส่วน คือส่วนการพูดคุยระหว่างผู้ใช้กับโมเดลภาษาขนาดใหญ่ และส่วนของการเล่นเกม โดยจะเป็นเกมฝึกการพูดภาษาอังกฤษ ซึ่งระบบจะสุ่มประโยคภาษาอังกฤษขึ้นมาครั้งละ 1 ประโยค และรอให้ผู้พูด จากนั้นจะนำคำพูดไปเปรียบเทียบกับหาคำความถูกต้อง และให้คะแนน หรือแจ้งว่าอ่านผิด จากการทดสอบพบว่า ระบบสามารถทำงานในส่วนของการพูดคุยกับโมเดลภาษาขนาดใหญ่ได้ถูกต้องและรวดเร็ว ส่วนการเล่นเกมมีการประเมินถูกต้องเช่นกัน ด้วยเทคโนโลยีเหล่านี้ จะทำให้ผู้ใช้รู้สึกสนุกสนานกับการฝึกพูดภาษาอังกฤษ และเพิ่มทักษะด้านการพูดภาษาอังกฤษได้อย่างมีคุณภาพ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่นำการรู้จำเสียงหรือการสังเคราะห์เสียง มาช่วยในด้านการเรียนรู้ภาษาอังกฤษพอสมควร เช่นงานวิจัยของ สุดฤทัย อรุณศิริโรจน์ [3] ได้นำเทคโนโลยีของการวิเคราะห์เสียง (speech analyzer) มาใช้ในการเรียนการสอน เรื่องการออกเสียงภาษาอังกฤษ พบว่าช่วยในเรื่องการออกเสียงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ณัฐพล กลุณ สุทธิกุล, ก้องภพ บุญมา, จิราภรณ์ เมืองประทับ, วสันต์ ณ ชัย และ เทพชัย ทรัพย์นิธิ [2] ได้นำเทคโนโลยีของการรู้จำเสียงอัตโนมัติ (ASR) ไปใช้กับแบบฝึกหัดการออกเสียงภาษาอังกฤษ กับผู้เรียนภาษาอังกฤษแบบ EFL (English as a Foreign Language) โดยพบว่ากลุ่มตัวอย่างร้อยละ 60 ได้ผลการออกเสียงภาษาอังกฤษดีขึ้นหลังจากการใช้งานระบบ ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้เพียงเทคโนโลยีของการรู้จำเสียงอัตโนมัติเท่านั้น โดยทำงานในรูปแบบเว็บ (web-based)

สำหรับงานวิจัยที่นำโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (LLM) มาใช้ด้านการศึกษายังมีไม่มาก เช่นงานวิจัยของ พรชัย จันทร์ถาวร, ปุ่น เทียงบุรณธรรม, ฉวีวรรณ เด่นไพบุลย์, ศุภวัฒน์กร วงศ์ธนวุธ และ สมคิด แก้วทิพย์ [6] ได้นำ LLM มาช่วยสังเคราะห์องค์ความรู้จากงานวิจัยเกี่ยวกับ โครงการเมืองแห่งการเรียนรู้ (Learning Cities: LC) ใน

ประเทศไทย โดยได้สกัดประเด็นสำคัญจากงานวิจัย 36 โครงการใน 29 เมือง สุดท้ายนำผลจากโมเดลภาษาขนาดใหญ่และการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างมาสังเคราะห์เป็นรูปแบบ เมืองแห่งการเรียนรู้

ในส่วนงานด้านการสร้างเสียงพูด ในประเทศไทยมีงานวิจัยด้านนี้ไม่มาก โดยมีงานวิจัยที่ประเทศไต้หวัน ได้แก่ Yi-Ching Huang และ Lung-Chuan Liao [7] ได้ศึกษาผลของการใช้สื่อดิจิทัลที่ผสานกับระบบแปลงข้อความเป็นเสียงพูด (Text To Speech) เพื่อพัฒนาทักษะการสะกดคำภาษาอังกฤษของนักเรียนระดับชั้นประถมไต้หวัน โดยได้ประเมินความสามารถในการสะกดคำภาษาอังกฤษ และการเรียนรู้ด้วยตนเอง พบว่าผู้เรียนเกิดแรงจูงใจ และสนุกกับการเรียน Tira Nur Fitria [8] ได้นำระบบแปลงข้อความเป็นเสียงพูด ไปใช้สร้างสื่อฟังภาษาอังกฤษสำหรับผู้เรียน โดยใช้แพลตฟอร์ม iSpeech พบว่ามีความสะดวก เป็นเครื่องมือที่ง่าย ประหยัดเวลา และมีประสิทธิภาพ ครูสามารถปรับแต่งเสียง สำเนียง และความเร็วได้ตามวัตถุประสงค์ของบทเรียน ส่งผลให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ฟังที่เป็นธรรมชาติและยืดหยุ่นมากขึ้น

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบระหว่างระบบ edge และ cloud ก็มีอยู่พอสมควร เช่นงานวิจัยของ Mohammad Jalili Torkamani และ Israt Zarin [9] ได้ทำงานวิจัยทางด้านการแปลงคำพูดเป็นการกระทำด้วยเทคโนโลยีของการรู้จำเสียงอัตโนมัติ (ASR) และ โมเดลภาษาขนาดใหญ่ (LLM) โดยการประมวลผลจะมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบระหว่าง edge และ cloud โดยอัตโนมัติ โดยผู้วิจัยใช้ฮาร์ดแวร์ Jetson Mate Xavier NX ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานไม่สูงมาก จึงต้องมีการแบ่งภาระงานระหว่าง edge และ cloud เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Vishesh Narendra Pamadi และ Pushpa Singh [4] และงานวิจัยของ Mohammed Abdus Salam [5] ก็ได้ทำการเปรียบเทียบการทำงานระหว่างระบบ edge และ cloud เช่นกัน ซึ่งพบว่าการทำงานแบบ edge จะได้เปรียบในเรื่องของเวลาหน่วงซึ่งมีค่าน้อยกว่า แต่ระบบ cloud จะให้ขอบเขตการทำงานที่กว้างกว่าสำหรับผู้วิจัยจึงมีความประสงค์จะพัฒนาระบบการทำงานแบบ edge ที่สมบูรณ์แบบเพื่อการใช้งานได้อย่างแท้จริง ทำให้ระบบมีความปลอดภัยในระดับสูง

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการฝึกการสนทนาภาษาอังกฤษ โดยการทำงานทั้งหมดจะทำงานแบบไม่ต้องการเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (off-line) ระบบทำงานในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ Jetson Orin NX หน่วยความจำ 16 GB โดยมีจอมอนิเตอร์ที่มีลำโพงในตัว, คีย์บอร์ด, เมาส์, ไมโครโฟน เป็นอุปกรณ์ประกอบการทำงาน และติดตั้งซอฟต์แวร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง พัฒนาระบบงาน ทดสอบและปรับปรุงการทำงาน

3.1 ติดตั้งระบบการทำงานที่จำเป็น

ซอฟต์แวร์หลักได้แก่ Jetpack 6.0 ซึ่งประกอบไปด้วย Ubuntu 22.04 และซอฟต์แวร์สำคัญด้านปัญญาประดิษฐ์ เช่น CUDA Toolkit, TensorRT เป็นต้น ส่วนของการรู้จำเสียงอัตโนมัติและการสร้างเสียงพูด จะติดตั้งโปรแกรม NVIDIA Riva ในรูปแบบ docker โดยจะต้องลงทะเบียนในส่วนของ NVIDIA GPU Cloud (NGC) เพื่อให้ได้กุญแจการใช้งาน หรือ API Key ซึ่งจะมีสิทธิ์การใช้งานฟรีเป็นเวลา 90 วัน สำหรับการใช้งาน NVIDIA Riva หลังจากติดตั้งแล้ว จะทำการเช็คค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่นเลขรหัสของลำโพงและไมโครโฟน เป็นต้น

ส่วนของโมเดลภาษาขนาดใหญ่จะทำการติดตั้งโมเดล LLaVA 1.5 7B ผ่าน docker ซึ่งเป็นโมเดลขนาดกลาง ทำให้ใช้พื้นที่หน่วยความจำไม่มากนัก ซึ่งจากการทดสอบพบว่าโมเดลนี้มีความฉลาดพอสมควร และไม่กินพื้นที่มากนัก สามารถทำงานใน Jetson Orin NX 16GB ได้เป็นอย่างดี

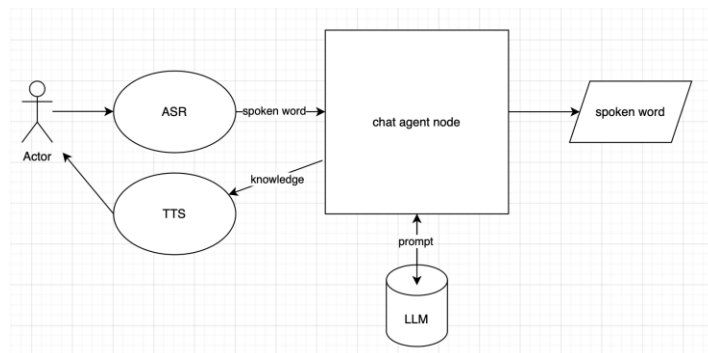
โปรแกรม ROS2 จะติดตั้งเวอร์ชัน Humble ซึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการ Ubuntu 22.04 ซึ่งติดตั้งเวอร์ชัน desktop และสำหรับไลบรารี pygame จะติดตั้งจากอินเทอร์เน็ตเช่นกัน

3.2 พัฒนาโปรแกรมของระบบ

ส่วนโปรแกรมที่ต้องพัฒนาได้แก่ node ของระบบ ROS2 โดยจะมี 2 node ในการทำงานหลัก ได้แก่

1. ส่วนของการรับข้อมูลจาก ASR และส่งข้อมูลไปที่ TTS (chat agent node)

การทำงานของ node นี้ คือการติดต่อกับ Riva ASR และ TTS เพื่อรับข้อมูลเสียงพูดของผู้ใช้ และส่งไปให้ node อื่นเพื่อประมวลผล และรับข้อมูลคำพูดจาก node อื่นเข้ามาเพื่อส่งเสียงพูดออกไปให้ผู้ใช้งานได้ยิน โดยทำงานแบบปฏิสัมพันธ์ (interactive) นอกจากนั้นแล้ว node นี้ยังติดต่อกับส่วนของ โมเดลภาษาขนาดใหญ่เพื่อพูดคุย (chat) และรับ,ส่งข้อมูลระหว่างกัน ภาพที่ 1 แสดงไต่อะแกรมการทำงานของ chat agent node



ภาพที่ 1 ไต่อะแกรมการทำงานของ chat agent node

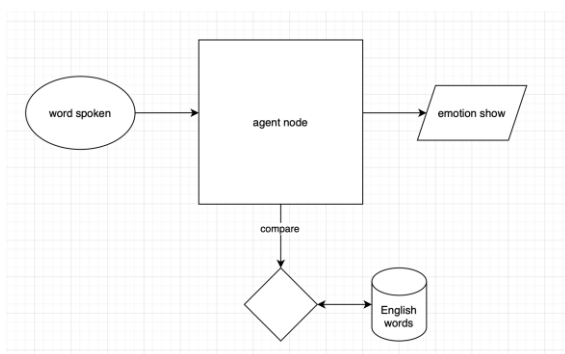
2. ส่วนของการแสดงผลกราฟิกและการประมวลผลของระบบ (agent node)

สำหรับ node นี้ จะเรียกการทำงานของไลบรารี pygame เพื่อแสดงผลภาพเคลื่อนไหวรูปใบหน้าที่หุ่นยนต์ และข้อความต่างๆ โดยจะรับ ส่งข้อมูลกับ node อื่นๆ และนำข้อมูลไปประมวลผล ก่อนจะแสดงผลภาพเคลื่อนไหวตามอารมณ์ต่างๆ นอกจากนั้น node นี้จะประมวลผลเงื่อนไขต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบ เช่นการแสดงผลอารมณ์และการตรวจสอบความถูกต้องของการเล่นเกมฝึกออกเสียงภาษาอังกฤษ เมื่อ node ทำงานจะเป็นดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การทำงานของภาพเคลื่อนไหวใบหน้าหุ่นยนต์ของ agent node

ภาพที่ 3 แสดงไดอะแกรมการทำงานของ agent node ซึ่งส่วนของ node จะอ่านข้อมูลชุดคำพูดภาษาอังกฤษมาเปรียบเทียบกับเสียงการพูดภาษาอังกฤษของผู้ใช้เพื่อแสดงผลการประเมินผลเป็นอารมณ์ของหุ่นยนต์



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมการทำงานของ agent node

ภาพที่ 4 แสดงการทำงานขณะเข้าสู่โหมดเล่นเกมอ่านออกเสียงภาษาอังกฤษ จะแสดงใบหน้าของหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถแสดงอารมณ์ต่างๆได้ เพื่อเพิ่มประสบการณ์การใช้งานของผู้ใช้



ภาพที่ 4 การทำงานของเกมฝึกอ่านออกเสียงภาษาอังกฤษ

3.3 ทดสอบการทำงานของระบบ

หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมที่จำเป็นครบถ้วน ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. เปิดการทำงานของ NVIDIA Riva
2. เปิดการทำงานของ โมเดลภาษาขนาดใหญ่
3. เรียกการทำงานของ agent node
4. เรียกการทำงานของ chat agent node
5. ทดสอบการทำงานทั้งส่วนของการพูดคุยและการเล่นเกม
6. ปรับปรุงแก้ไขเพื่อพัฒนาระบบ

การทดสอบในส่วนของการพูดคุยกับโมเดลภาษาขนาดใหญ่ จะทดสอบใน 2 ด้าน ได้แก่ด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องผู้วิจัยใช้การทดสอบโดยเปรียบเทียบระหว่างชุดของคำถามที่เตรียมไว้จำนวน 100 ชุด เทียบกับคำตอบที่ได้จากระบบ และใช้การวัดอัตราความผิดพลาดของการตอบ (answer error rate) ซึ่งการทดสอบนั้น ผู้วิจัยประเมินความถูกต้องของการตอบโดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ Wikipedia เป็นข้อมูลอ้างอิง จากนั้นบันทึกผลการทดสอบ โดยสมการของอัตราความผิดพลาดเป็นดังสมการที่ (1)

$$AER = \frac{AE}{N} \quad (1)$$

AER = อัตราความผิดพลาดของการตอบ

AE = จำนวนคำถามที่ตอบผิด

N = จำนวนคำถามทั้งหมด

นอกจากนั้น ผู้วิจัยได้ทดสอบ ความถูกต้องของการพูดของ TTS โดยจะวัดอัตราความผิดพลาดของการพูด (speech error rate) จากการเปรียบเทียบระหว่างคำพูดที่ระบบเขียนออกมาทางจอภาพและเสียงที่พูดออกมา โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ translate.google.com เป็นข้อมูลอ้างอิง ตามสมการที่ (2) ทดสอบเป็นจำนวน 100 ครั้ง

$$SER = \frac{SE}{N} \quad (2)$$

SER = อัตราความผิดพลาดของการพูด

SE = จำนวนการพูดที่ผิดพลาด

N = จำนวนคำพูดทั้งหมด

ในด้านประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ทดสอบความเร็วด้านการแปลงคำพูดเป็นข้อความของ TTS โดยจะวัดจากเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มพูดเข้าไปผ่านไมโครโฟนจนถึงเวลาที่ระบบแสดงผลคำพูดนั้นออกมา ซึ่งทดสอบด้วยคำพูดจำนวน 100 ชุด

สำหรับการทดสอบในส่วนของการเล่นเกมฝึกพูดภาษาอังกฤษ จะทดสอบโดยการพูดตามประโยคที่เห็น โดยมีการทดสอบทั้งการพูดถูก (positive testing) และกล่าวผิด (negative testing) ด้วยจำนวนการทดสอบอย่างละ 100 คำพูด และทำการวัดค่า EER ดังสมการที่ (3)

$$EER = \frac{EE}{N} \quad (3)$$

EER = อัตราความผิดพลาดของการประเมินผลของระบบ

EE = จำนวนความผิดพลาดของการประเมินผลของระบบ

N = จำนวนคำพูดทั้งหมด

4. ผลการวิจัย

หลังจากการพัฒนาระบบ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบผลการดำเนินการตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1 - 3

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความถูกต้องของการพูดคุยกับโมเดลภาษาขนาดใหญ่

ตัวชี้วัด	ผลที่ได้
อัตราการผิดพลาดของการตอบ	0.03
อัตราการผิดพลาดของการพูด	0.01

ตารางที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของการพูดคุยกับโมเดลภาษาขนาดใหญ่

ตัวชี้วัด	ผลการทดสอบ
ความเร็วเฉลี่ยการพูดของ TTS	0.43 วินาที

สำหรับการทดสอบการทำงานของการเล่นเกมนอกเสียงภาษาอังกฤษ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบการประมวลผลของเกมพูดภาษาอังกฤษ

ตัวชี้วัด	ผลที่ได้
อัตราความผิดพลาดของการประเมินผลของระบบ	0.02

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

จากการทดสอบการทำงานของระบบ พบว่า NVIDIA Riva มีการทำงานทางด้านการรู้จำเสียง และการสังเคราะห์เสียงเป็นอย่างดี โดยมีความแม่นยำในการรู้จำเสียงที่ระดับสูง มีการตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และการใช้ Jetson Orin NX 16GB เป็นอุปกรณ์ในการทำงานมีความเหมาะสม สามารถรองรับการประมวลผลปัญญาประดิษฐ์ในแบบ Edge Technology ได้เป็นอย่างดี ข้อดีของการใช้ Jetson Orin NX นอกจากความเร็วในการตอบสนองแล้ว ยังมีเรื่องของการทำงานในตัวเอง (off-line) ทำให้ลดการพึ่งพาระบบเครือข่ายและเพิ่มความปลอดภัยให้กับข้อมูลในระบบ สอดคล้องกับพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (PDPA)

การใช้โมเดลภาษาขนาดใหญ่บน Jetson Orin NX ช่วยให้สามารถติดตั้งลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวได้ ทำให้เกิดความรวดเร็ว และส่วนของโมเดลภาษาขนาดใหญ่สามารถประยุกต์การทำงานได้หลายรูปแบบ และสามารถเรียนรู้ความรู้เพิ่มเติมในรูปแบบต่อยอดได้ ดังนั้นเทคนิคนี้จะช่วยสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ที่เป็นประโยชน์ได้อีกมาก และมีความเหมาะสมสำหรับการใช้ในหน่วยงานที่ห่างไกลจากระบบอินเทอร์เน็ต เช่น โรงเรียนในชนบท

การใช้งาน NVIDIA Riva ก็สามารถเรียนรู้แบบต่อยอดได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่นการใช้เสียงเฉพาะในบริบทงานบางด้าน หรือภาษาท้องถิ่นแต่ละที่ สำหรับ ROS2 มีข้อดีคือความสามารถด้านการเชื่อมโยงหน่วยโปรแกรมต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ผู้ออกแบบระบบสามารถสร้างซอฟต์แวร์ในรูปแบบแบ่งส่วน (modularity) ได้ ทำให้สะดวกต่อการพัฒนา สามารถปรับเปลี่ยนโมเดลทางด้านปัญญาประดิษฐ์ในอนาคตได้โดยไม่กระทบกับภาพรวมของระบบ และแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ง่าย ส่วนการใช้ pygame เพิ่มความน่าสนใจให้กับการใช้งานระบบ ทำให้ผู้ใช้รู้สึกเพลิดเพลินกับการใช้งาน และสร้างปฏิสัมพันธ์กับระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ pygame เพิ่มความสามารถด้านประสบการณ์ของผู้ใช้ (user experience) และสามารถรับข้อมูลต่างๆ ผ่านทางระบบ ROS2 ซึ่งทำให้การเชื่อมโยงกับงานในส่วนอื่นเป็นไปได้อย่างสะดวก

การพัฒนางานวิจัยต่อยอดในอนาคต สามารถทำได้อย่างหลากหลายรูปแบบตามบริบทงานต่างๆ และส่วนของโมเดลภาษาขนาดใหญ่ก็สามารถเลือกประเภทและขนาดได้ตามความเหมาะสมกับคุณสมบัติ (specification) ของอุปกรณ์ที่ใช้ การปรับส่วนของแอปพลิเคชันและการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ก็สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม และด้วยความสามารถของ NVIDIA Riva จะเพิ่มคุณค่าของนวัตกรรมนั้นเป็นอย่างมาก ดังนั้นองค์ความรู้จากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจและสังคมอย่างมาก

6. เอกสารอ้างอิง

[1] NVIDIA Corporation. (2025, April 3). NVIDIA Riva user guide (Release 2.19.0).

<https://docs.nvidia.com/deeplearning/riva/user-guide/docs/index.html>

[2] Kritsuthikul, N., Boonma, K., Muangprathub, J., Na Chai, W., & Supnithi, T. (2024).

Improve English pronunciation at word level for Thai EFL learners in southern region using end-to-end automatic speech recognition. *Proceedings of the 32nd International Conference on Computers in Education (ICCE 2024)*. <https://doi.org/10.58459/icce.2024.4917>

- [3] Arunsitot, S. (2017). Implementing a speech analyzer software to enhance English pronunciation competence of Thai students. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*, 28(2), 116–129. <https://opac1.lib.buu.ac.th/medias3/edu28n2p116-129.pdf>
- [4] Pamadi, V. N., & Singh, P. (n.d.). Edge AI vs. Cloud AI: A comparative study of performance, latency, and scalability. *International Journal of Research in Modern Engineering & Emerging Technology*. <https://ijrmeet.org/edge-ai-vs-cloud-ai-a-comparative-study-of-performance-latency-and-scalability/>
- [5] Salam, M. A. (2024). Edge-cloud collaboration in real-time AI applications. *Iconic Research and Engineering Journals*, 8(6), 1125–1136. <https://www.irejournals.com/formatedpaper/1709991.pdf>
- [6] Jantaworn, P., Thiengburanathum, P., Denpaiboon, C., Wongthanavas, S., & Keawthip, S. (2024). City to city of learning in Thailand: From research synthesis by large language models. *Asian Journal of Adult Education*. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/AJA/article/download/274059/178740/1114876>
- [7] Huang, Y.-C., & Liao, L.-C. (2015). A study of text-to-speech (TTS) in children's English learning. *Teaching English with Technology*, 15(1), 14–30. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1140575.pdf>
- [8] Fitria, T. N. (2024). Utilizing text-to-speech (TTS) technology in creating listening materials for English language teaching (ELT). *Journal of English Language and Culture*, 15(1), 73–85. <https://journal.ubm.ac.id/index.php/english-language-culture/article/view/4995>
- [9] Torkamani, M. J., & Zarin, I. (2025). *Adaptive edge-cloud inference for speech-to-action systems using ASR and large language models* (arXiv:2512.12769). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2512.12769>

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำนายความแข็งแรงในการรับน้ำหนักกดทับ ของขวดน้ำดื่มจาก rPET 100%

FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR PREDICTING TOP-LOAD STRENGTH OF 100% RPET DRINKING WATER BOTTLES

นภธร พูลเพียร^{1*}

Napathorn Punpain^{1*}

¹ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

¹ College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University

* E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): kanyarat.pun@dpu.ac.th

วันที่รับบทความ 12 กุมภาพันธ์ 2569 วันที่ไขบทความ 6 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 30 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) เพื่อทำนายความแข็งแรงในการรับแรงกดทับในแนวตั้ง (Top-load Strength) ของขวดน้ำดื่มที่ผลิตจากพลาสติกรีไซเคิล rPET 100% เปรียบเทียบกับขวดที่ผลิตจาก Virgin PET ภายใต้เงื่อนไขทางเรขาคณิตและการรับภาระที่เหมือนกัน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าขวด Virgin PET มีความสามารถในการรับแรงกดทับสูงสุดที่ 282.50 นิวตัน ในขณะที่ขวด rPET 100% มีความสามารถในการรับแรงลดลงเหลือ 245.80 นิวตัน หรือลดลงประมาณร้อยละ 13 โดยทั้งสองกรณีแสดงพฤติกรรมการเสียหายที่คล้ายคลึงกัน คือมีการสะสมความเค้นสูงและการโก่งเดาะ (Buckling) เริ่มต้นที่บริเวณคอขวดและไหล่ขวด แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมทางกายภาพและสามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงโครงสร้างบรรจุภัณฑ์จากวัสดุรีไซเคิลให้มีความแข็งแรงเทียบเท่าวัสดุใหม่ ซึ่งเป็นการส่งเสริมการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนในระดับอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: พลาสติกรีไซเคิล (rPET); ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์; ความแข็งแรงต่อแรงกดทับ; การโก่งเดาะ

ABSTRACT

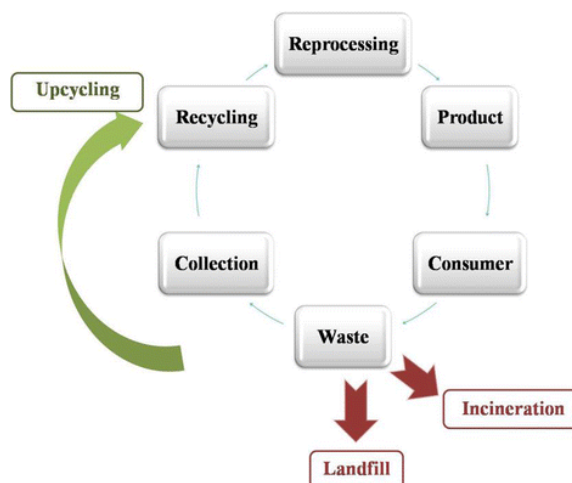
This research presents the application of Finite Element Analysis (FEA) to predict the vertical top-load strength of drinking water bottles manufactured from 100% recycled polyethylene terephthalate (rPET), compared with conventional Virgin PET bottles under identical geometric and loading conditions. The simulation results reveal that while the Virgin PET bottle exhibits a maximum load capacity of 282.50 N, the 100% rPET bottle shows a reduction in strength to 245.80 N, representing a decrease of approximately 13%. Both cases exhibit similar failure behaviors, characterized by high stress accumulation and buckling initiation at the bottle neck and shoulder. The developed model closely aligns with physical behavior and can be used as a tool to support engineering design for improving packaging structure from recycled materials, thereby promoting sustainable packaging development at the industrial level.

N, representing a decrease of approximately 13%. Both bottle types demonstrate similar failure characteristics, with high stress concentration and initial buckling occurring at the neck and shoulder regions. The developed FEA model demonstrates strong predictive capability for engineering applications, providing critical insights for structural optimization of recycled packaging to achieve performance parity with virgin materials, thereby supporting sustainable packaging development in the industry.

Keywords: Recycled PET (rPET); Finite Element Analysis (FEA); Top-load Strength, Buckling

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาขยะพลาสติกได้กลายเป็นวิกฤตการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมระดับโลก ส่งผลให้ภาคอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์หันมาให้ความสำคัญกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) อย่างจริงจัง โดยเฉพาะการนำขวดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) กลับมาใช้ใหม่ พลาสติก PET จัดเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงในการรีไซเคิล แต่ความท้าทายสำคัญคือการผลักดันให้เกิดการใช้พลาสติกรีไซเคิล 100% (100% rPET) เพื่อลดการใช้เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ (Virgin Plastic) อย่างสมบูรณ์ ตามเป้าหมายความยั่งยืนของแบรนด์สินค้าระดับโลกหลายแห่งที่ต้องการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน [1, 2] อย่างไรก็ตาม กระบวนการรีไซเคิลพลาสติกด้วยความร้อนซ้ำหลายครั้ง ส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้เกิดการตัดขาดของสายโซ่โมเลกุล (Chain scission) และการลดลงของค่าความหนืด (Intrinsic Viscosity) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สมบัติทางกลของขวด rPET ต่ำกว่าประสิทธิภาพของขวด PET เกรดบริสุทธิ์ [3, 4]

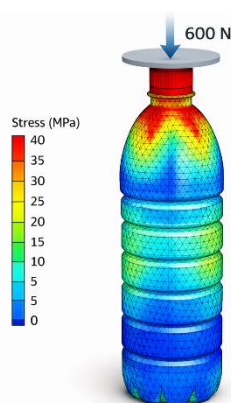


ภาพที่ 1.1 แผนภาพแสดงวงจรเศรษฐกิจหมุนเวียนของการนำขวด PET กลับมารีไซเคิลเป็นขวดใหม่ (Bottle-to-Bottle Recycling) [5]

หนึ่งในเกณฑ์มาตรฐานที่สำคัญที่สุดในการควบคุมคุณภาพบรรจุภัณฑ์ขวดน้ำดื่ม คือความสามารถในการรับแรงกดในแนวตั้ง (Top-load Strength) ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแรงของขวดเมื่อต้องรับน้ำหนักจากการวางซ้อนกันในกระบวนการจัดเก็บและขนส่ง หากขวด rPET มีความแข็งแรงไม่เพียงพอ จะนำไปสู่การบุบสลายหรือการพังทลายของกองสินค้า ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาล [6] การทดสอบความแข็งแรงด้วยวิธีการดั้งเดิม

(Trial and Error) โดยการสร้างแม่พิมพ์และเป่าขวดจริงเพื่อนำมาทดสอบกดทับนั้น มีต้นทุนสูง ใช้ระยะเวลานาน และก่อให้เกิดขยะพลาสติกจากการทดสอบจำนวนมาก ซึ่งขัดแย้งกับหลักการรักษาสິงแวดล้อม [7]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาอย่างชัดเจน กล่าวคือ (1) มุ่งเน้นการศึกษาขวดน้ำดื่มจาก rPET 100% โดยไม่ผสมวัสดุบริสุทธิ์ (2) ใช้การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อเปรียบเทียบกับ Virgin PET ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันอย่างเป็นระบบ และ (3) วิเคราะห์ตำแหน่งวิกฤตของความเค้นและกลไกการเสียหายเชิงลึก ซึ่งยังมีการรายงานอย่างจำกัดในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [8–10] ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จึงมีส่วนช่วยเติมเต็มองค์ความรู้ด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกรีไซเคิลให้มีความแข็งแรงและยั่งยืนมากยิ่งขึ้น



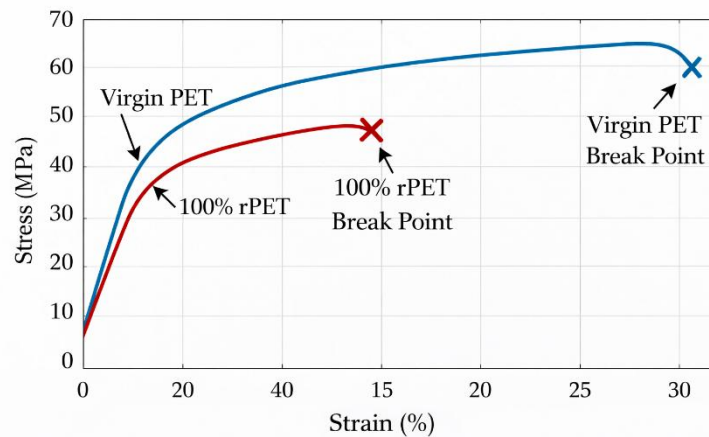
ภาพที่ 1.2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น (Stress Distribution) บนขวดพลาสติกภายใต้แรงกด Top-load ด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของวัสดุพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ทั้งในรูปแบบบริสุทธิ์และรีไซเคิล (rPET) รวมถึงทฤษฎีความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ภายใต้แรงกดทับ และหลักการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) เพื่อใช้เป็นกรอบแนวคิดในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

2.1 สมบัติเชิงกลและการเสื่อมสภาพของ rPET 100%

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) เป็นพลาสติกกึ่งผลึก (Semi-crystalline plastic) ที่นิยมใช้ผลิตขวดน้ำดื่มเนื่องจากมีความใสและสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซที่ดีเยี่ยม อย่างไรก็ตาม การนำ PET กลับมารีไซเคิล 100% (100% rPET) เพื่อใช้ใหม่ ต้องผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดและหลอมเหลวด้วยความร้อนสูงซ้ำหลายรอบ งานวิจัยของ Wan et al. [11] และ Hopewell et al. [12] พบว่ากระบวนการทางความร้อนนี้ส่งผลให้เกิดการตัดขาดของสายโซ่โมเลกุล (Thermal degradation and hydrolysis) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ค่าความหนืด (Intrinsic Viscosity: IV) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อค่า IV ลดลง จะส่งผลโดยตรงให้ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และความยืดหยุ่น (Elongation at break) ของพลาสติกลดลง ส่งผลให้ขวด rPET มีลักษณะเปราะและแตกง่ายกว่าขวดที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกใหม่ ดังแสดงในแผนภาพความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) ในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุ rPET มีจุดแตกหักที่รวดเร็วกว่าวัสดุบริสุทธิ์



ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียดของ Virgin PET และ 100% rPET

(แกนนอน (X-axis): ความเครียด (Strain, mm/mm); แกนตั้ง (Y-axis): ความเค้น (Stress, MPa))

2.2 พฤติกรรมการรับแรงกดทับ (Top-load Strength) และความเสียหายของขวด

ความสามารถในการรับแรงกดในแนวตั้ง หรือ Top-load Strength ตามมาตรฐาน ASTM D2659 เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพที่สำคัญที่สุดของขวดน้ำดื่ม เพื่อป้องกันความเสียหายระหว่างการจัดเก็บและการขนส่งแบบวางซ้อนพาเลท งานวิจัยของ Masood และ Keshava Murthy [7] ได้ศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของขวด PET และระบุว่าการเสียหายมักเกิดขึ้นในรูปแบบของการโก่งเดาะ (Buckling) บริเวณคอขวดหรือไหล่ขวด ซึ่งเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาและรูปทรงมากที่สุด นอกจากนี้ Demirel และ Yaraş ยังค้นพบว่าการกระจายความหนาของผนังขวด (Wall Thickness Distribution) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความแข็งแรง หากขวด rPET 100% มีความหนาผนังที่ไม่สม่ำเสมอหรือบางเกินไปในจุดวิกฤต จะทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลงถึงร้อยละ 20-30 เมื่อเทียบกับขวดปกติ [8] ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างสันนูน (Ribs) หรือลดความหนาของผนังขวดจึงเป็นกลยุทธ์สำคัญในการช่วยกระจายความเค้นและเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) ให้กับโครงสร้างขวด

2.3 การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis)

การทดสอบความแข็งแรงของขวด rPET ด้วยการผลิตชิ้นงานจริง (Physical Prototype) มีต้นทุนสูงและใช้เวลานาน จึงมีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ (Computer-Aided Engineering (CAE)) โดยเฉพาะระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) มาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง หลักการของ FEA คือการแบ่งชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ (Elements) ที่เชื่อมต่อกันด้วยจุดต่อ (Nodes) เพื่อคำนวณหาการกระจายความเค้น (Stress Distribution) และการเสียรูป (Deformation) งานวิจัยของ Hu et al. [13] ยืนยันว่าการจำลองด้วย FEA สามารถทำนายค่า Top-load ได้แม่นยำ โดยมีความคลาดเคลื่อนจากผลการทดสอบจริงเพียงร้อยละ 5-10 หากมีการกำหนดค่าสมบัติวัสดุและเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ที่ถูกต้อง ล่าสุดงานวิจัยของ Salazar et al. [9] ได้นำ FEA มาใช้เจาะจงกับขวด rPET 100% โดยเสนอว่าการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ช่วยให้นักออกแบบสามารถปรับจูนความหนาของขวดในจุดที่เกิดความเค้นสูง (Hotspots) ได้ทันที ทำให้สามารถพัฒนาขวด rPET ที่มีความแข็งแรงเทียบเท่าขวด Virgin PET ได้โดยไม่ต้องเพิ่มน้ำหนักพลาสติกโดยไม่จำเป็น

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงคำนวณ (Computational Study) โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) เพื่อทำนายพฤติกรรมทางกลของขวดน้ำดื่มที่ผลิตจากพลาสติกรีไซเคิล 100% (100% rPET) เปรียบเทียบกับพลาสติกเกรดบริสุทธิ์ (Virgin PET) โดยการวิเคราะห์ดำเนินการด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench 2023 R2 (ANSYS Inc., USA) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (Research Framework) เพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างมีระบบ ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- การสร้างแบบจำลองเรขาคณิต (Geometric Modeling): ออกแบบขวด 3 มิติ
- การกำหนดสมบัติวัสดุ (Material Assignment): ป้อนค่าพารามิเตอร์ของ Virgin PET และ 100% rPET
- การสร้างเมช (Meshing): แบ่งชิ้นงานเป็นองค์ประกอบย่อย (element)
- การกำหนดสภาวะขอบเขตและแรงกระทำ (Boundary Conditions & Loading): จำลองสถานการณ์การกดทับ
- การประมวลผลและวิเคราะห์ผล (Solving & Analysis): คำนวณหาค่าความเค้นและการเสียรูป

3.2 การสร้างแบบจำลองเรขาคณิต (3D Geometry Modeling) ผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของขวดน้ำดื่มขนาดบรรจุ 600 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานในท้องตลาด โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD Software) เช่น SolidWorks หรือ Autodesk Inventor โดยมีการกำหนดมิติสัดส่วนดังนี้

- ความสูงรวม (Total Height): 210 มิลลิเมตร
- เส้นผ่านศูนย์กลางลำตัว (Body Diameter): 60 มิลลิเมตร
- ความหนาผนังขวด (Wall Thickness): กำหนดให้มีความหนาเฉลี่ย 0.25 มิลลิเมตร
- รูปทรง: ทรงกระบอกพร้อมรอนเสริมแรง (Ribs) บริเวณลำตัวขวดเพื่อช่วยในการรับแรง

3.3 การกำหนดสมบัติของวัสดุ (Material Properties Definition) ส่วนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการแยกความแตกต่างระหว่างขวดปกติและขวดรีไซเคิล ผู้วิจัยอ้างอิงข้อมูลสมบัติทางกลจากงานวิจัยที่ผ่านมา (Secondary Data) โดยกำหนดให้วัสดุมีพฤติกรรมแบบ Linear Elastic และ Isotropic (สมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

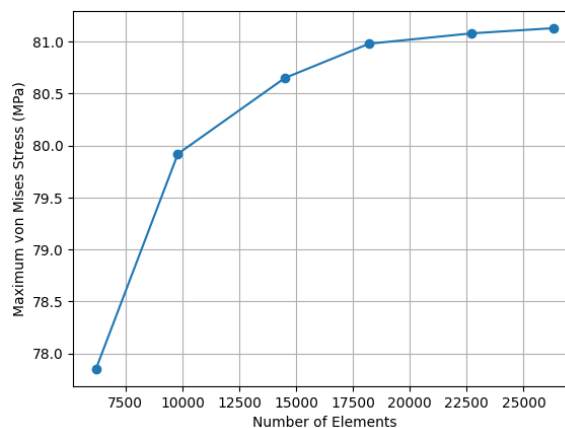
สมบัติทางกล (Mechanical Properties)	สัญลักษณ์	หน่วย	Virgin PET	100% rPET
ความหนาแน่น (Density)	ρ	kg/m ³	1380	1370
ยังส์มอดุลัส (Young's Modulus)	E	MPa	2800	2400
อัตราส่วนพัวซอง (Poisson's Ratio)	ν	-	0.38	0.38
จุดคราก (Yield Strength)	σ_y	MPa	55	45

*ยังส์มอดุลัส (Young's Modulus) และจุดคราก (Yield Strength) ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 10\%$

3.4 การสร้างเมช (Meshing and Discretization) เพื่อให้การคำนวณมีความแม่นยำ แบบจำลองสามมิติถูกแบ่งออกเป็นองค์ประกอบย่อยที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย ในการศึกษานี้เลือกใช้ Shell Element ชนิด Quadratic (เช่น SHELL181) ซึ่งเหมาะสมกับโครงสร้างผนังบางของขวดน้ำดื่ม สามารถให้ความแม่นยำสูงในการวิเคราะห์ความเค้นและพฤติกรรมการโก่งเดาะ รวมทั้งรองรับรูปทรงโค้งของขวดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความละเอียดของเมชถูกกำหนดให้มีความหนาแน่นสูงเป็นพิเศษบริเวณคอขวดและไหล่ขวด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดความเค้นสูงสุด นอกจากนี้ได้ดำเนินการทดสอบความลู่เข้าของเมชโดยการปรับขนาดเมชให้ละเอียดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งค่าความเค้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 1% ซึ่งยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของเมช เพื่อประเมินความเหมาะสมของขนาดเมช ได้ทำการทดสอบความลู่เข้าของเมชโดยการปรับจำนวนองค์ประกอบย่อยและเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และภาพที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบความลู่เข้าของเมช แสดงจำนวนองค์ประกอบ ค่าความเค้นสูงสุดแบบ von Mises และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนระหว่างเมช

Mesh size (mm)	Number of elements	Maximum stress (MPa)	Percent error (%)
3.0	6,200	77.85	4.04
2.5	9,800	79.92	1.49
2.0	14,500	80.65	0.59
1.8	18,200	80.98	0.19
1.5	22,700	81.08	0.06
1.2	26,300	81.13	≈ 0.05



ภาพที่ 3.1 การทดสอบความลู่เข้าของเมช แสดงแนวโน้มการคงตัวของค่าความเค้นสูงสุดแบบ von Mises เมื่อจำนวนองค์ประกอบเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.2 และภาพที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบความลู่เข้าของเมช โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนองค์ประกอบกับค่าความเค้นสูงสุดแบบ von Mises พร้อมทั้งคำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนระหว่างเมชที่ต่อเนื่องกัน พบว่าเมื่อจำนวนองค์ประกอบเพิ่มขึ้น ค่าความเค้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงต้นก่อนเข้าสู่ภาวะคงที่ และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าน้อยกว่า 1% เมื่อจำนวนองค์ประกอบมากกว่า 18,000

elements แสดงว่าผลลัพธ์มีความลู่เข้าและเป็นอิสระจากขนาดเมชในช่วงดังกล่าว จึงสามารถเลือกใช้เมชในช่วงนี้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำเพียงพอและมีประสิทธิภาพเชิงคำนวณที่เหมาะสม

3.5 การกำหนดสภาวะขอบเขตและแรงกระทำ (Boundary Conditions & Loading) การจำลองสภาวะการทดสอบแรงกดทับ (Top-load Test) จะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2659 โดยมีการตั้งค่าดังนี้

1. จุดยึดตรึง (Fixed Support) กำหนดให้บริเวณก้นขวด (Bottom Surface) ถูกยึดตรึงแน่น ไม่มีการเคลื่อนที่ในทุกแกน ($U_x=U_y=U_z=0$)

2. แรงกระทำ (Loading) ใช้แผ่นกดจำลอง (Rigid Plate) กดลงที่บริเวณปากขวดกำหนดเป็นการบังคับระยะกระจัด (Displacement Control) ให้กดลงมาเป็นระยะทาง 5 มิลลิเมตรในทิศทางแนวดิ่ง (-Y axis) โดยค่าระยะกระจัดดังกล่าวถูกเลือกให้ครอบคลุมช่วงพฤติกรรมเชิงกลตั้งแต่ย่านยืดหยุ่น (Elastic Region) ไปจนถึงจุดเริ่มต้นของการเสียรูปถาวรและการโก่งเดาะ (Buckling Initiation) ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการวิบัติของขวดภายใต้แรงกดทับ ค่าดังกล่าวยังช่วยให้สามารถเปรียบเทียบพฤติกรรมเชิงโครงสร้างระหว่างวัสดุได้อย่างชัดเจนภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน

3.6 เกณฑ์การวิเคราะห์ความเสียหาย (Failure Criteria) ในการประเมินว่าขวดจะเสียหายหรือไม่ จะใช้เกณฑ์ Von Mises Stress โดยพิจารณาค่าความเค้นสูงสุดเปรียบเทียบกับค่าจุดคราก (Yield Strength) ของวัสดุ แม้ว่าแบบจำลองจะสมมติให้วัสดุมีพฤติกรรมเชิงเส้น (Linear Elastic Behavior) แต่การประเมินการเสียหายยังสามารถดำเนินการได้โดยการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดกับค่าจุดคราก ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมสำหรับวัสดุโพลิเมอร์ โดยพิจารณาดังนี้ หากค่าความเค้นสูงสุด (Max Von Mises Stress) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน น้อยกว่า ค่าจุดคราก (Yield Strength) ของวัสดุ ($\sigma_{max} < \sigma_y$) ถือว่าขวดปลอดภัย หากค่าความเค้นสูงสุด มากกว่า ค่าจุดคราก ($\sigma_{max} \geq \sigma_y$) ถือว่าขวดเกิดการเสียรูปถาวรหรือเสียหาย

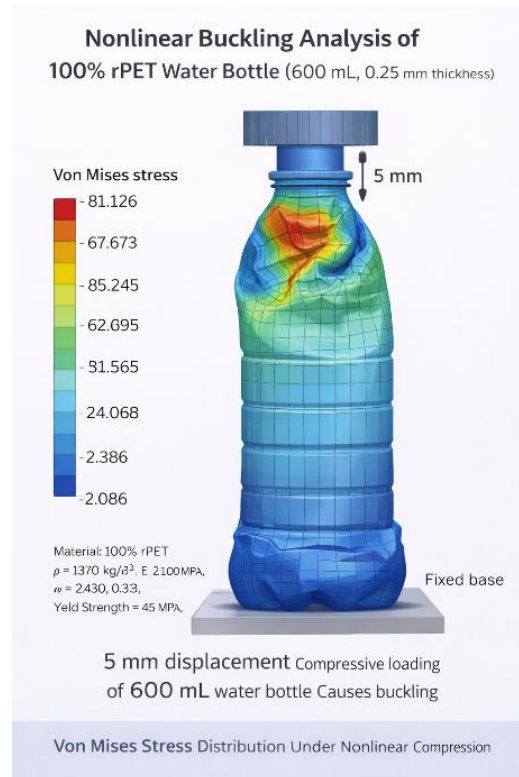
3.7 สมมติฐานและข้อจำกัดของแบบจำลอง (Model Assumptions and Limitations) แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาภายใต้สมมติฐานหลัก ได้แก่ (1) วัสดุถูกสมมติให้มีพฤติกรรมแบบเชิงเส้นและเป็นเนื้อเดียวกันทุกทิศทาง (Linear elastic and isotropic behavior) (2) ไม่พิจารณาผลของการคืบ การหน่วงเวลา และพฤติกรรมไม่เชิงเส้นของพลาสติก (Viscoelastic and plastic effects) (3) รูปทรงเรขาคณิตของขวดเป็นแบบอุดมคติ โดยไม่รวมผลกระทบจากตำหนิที่เกิดจากกระบวนการผลิต และ (4) การวิเคราะห์พิจารณาเฉพาะการรับแรงแบบกึ่งสถิตในแนวดิ่ง สมมติฐานดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและการประเมินแนวโน้มความแข็งแรงเชิงโครงสร้าง แต่ยังมีข้อจำกัดในการทำนายพฤติกรรมภายใต้สภาวะการใช้งานจริงที่ซับซ้อน

4. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของขวดน้ำดื่มขนาด 600 มิลลิลิตร ที่ความหนาผนังขวด 0.25 มิลลิเมตร ภายใต้แรงกดทับในแนวดิ่ง (Top-load) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) โดยแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การกระจายความเค้น (Stress Distribution), การเสียรูป (Deformation), และการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงสูงสุด (Max Load Capacity) ในการวิเคราะห์นี้ การเสียหายของโครงสร้างขวดถูกพิจารณาจากค่าปฏิกิริยาแรงในแนวดิ่งสูงสุดที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการกระจัด ร่วมกับการเกิด การโก่งเดาะเฉพาะที่และการสะสมความเค้นสูงบริเวณโครงสร้างส่วนคอขวดและไหล่ขวด ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของความไม่เสถียรเชิงโครงสร้าง

4.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น (Von Mises Stress Distribution)

จากการจำลองสถานะการรับแรงกดทับที่ระยะกระจัด (Displacement) 5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะช่วงที่ครอบคลุม elastic-plastic transition และจุดเริ่ม buckling ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการกระจายตัวของความเค้น (Stress) บนผนังขวด ดังแสดงในรูปที่ 4.1

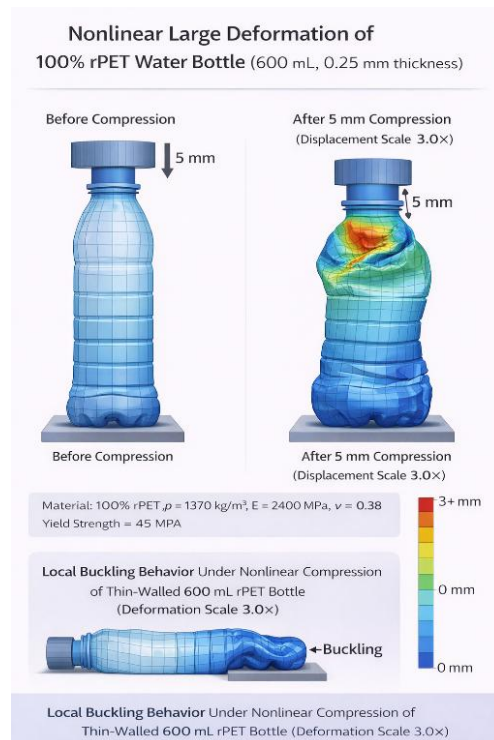


ภาพที่ 4.1 การกระจายความเค้นแบบ Von Mises และลักษณะการโก่งเดาะ (Buckling) ของขวด rPET 100% ที่ความหนา 0.25 มม.

จากภาพที่ 4.1 แสดงผลการจำลองการกระจายความเค้น (Von Mises Stress Distribution) ของขวดน้ำดื่มที่ผลิตจากพลาสติก rPET 100% ที่ความหนาผนัง 0.25 มิลลิเมตร ภายใต้การบังคับระยะกดทับ (Displacement) 5 มิลลิเมตร พบว่าบริเวณวิกฤตที่เกิดความเค้นสูงสุด (แถบสีแดง) กระจุกตัวอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณรอยต่อระหว่างคอขวดและไหล่ขวด (Neck and Shoulder region) โดยมีค่าความเค้นพุ่งสูงถึง 81.13 MPa ซึ่งมีค่าเกินกว่าขีดจำกัดความยืดหยุ่นหรือจุดคราก (Yield Strength) ของวัสดุ rPET ที่กำหนดไว้เพียง 45 MPa ส่งผลให้โครงสร้างขวดเกิดการวิบัติในรูปแบบการโก่งเดาะ (Buckling) และเกิดการพยุบอย่างถาวร (Plastic Deformation) บริเวณส่วนบนของขวดอย่างชัดเจน

4.2 ผลการวิเคราะห์การเสียรูป (Total Deformation Analysis)

นอกเหนือจากการวิเคราะห์ความเค้นแล้ว การศึกษาพฤติกรรมการเสียรูป (Deformation) ถือเป็นเรื่องสำคัญในการประเมินเสถียรภาพของโครงสร้างขวด โดยเฉพาะเมื่อใช้วัสดุ rPET 100% ที่มีความแข็งแรง (Stiffness) ลดลง ผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการได้รับแรงกดทับที่ระยะ 5 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการเสียรูป (Total Deformation) ของขวด rPET 100% ก่อนและหลังการกดทับ

จากภาพที่ 4.2 แสดงผลการจำลองพฤติกรรมการเสียรูป (Total Deformation) ของขวดน้ำดื่ม rPET 100% ขนาด 600 มิลลิลิตร ที่ความหนาผนัง 0.25 มิลลิเมตร ภายใต้การกดทับด้วยระยะขจัด 5 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบสภาวะก่อนและหลังการรับแรง (Before and After Compression) พบว่าโครงสร้างขวดเกิดการยุบตัวในแนวดิ่งและมีการเสียรูปป่องออกด้านข้าง (Lateral Bulging) อย่างชัดเจนบริเวณไหล่ขวดและลำตัวส่วนบน ซึ่งบ่งชี้ถึงการเกิดปรากฏการณ์การโก่งเดาะ (Buckling) ของผนังบาง โดยภาพจำลองได้ใช้มาตราส่วนการขยายผลการเสียรูป (Deformation Scale) 3.0 เท่า เพื่อแสดงตำแหน่งของการพับย่นและการสูญเสียเสถียรภาพของโครงสร้างให้เห็นเด่นชัดยิ่งขึ้น

4.2.1 การเปรียบเทียบระยะการเสียรูปในแนวนอน (Lateral Deformation Analysis)

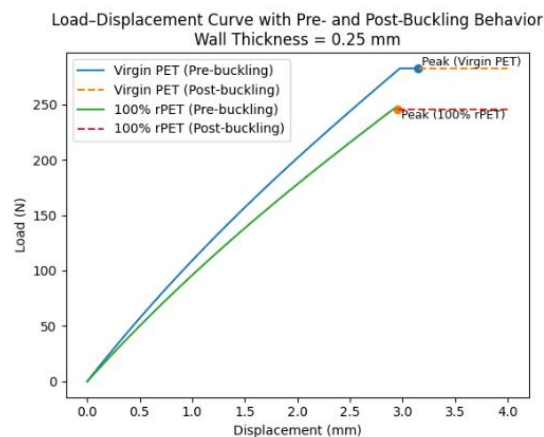
เนื่องจากการทดสอบนี้เป็นการควบคุมระยะกระจัดในแนวดิ่ง (Displacement Control) ที่ 5 มิลลิเมตรเท่ากันทั้งสองกรณี ความแตกต่างที่สำคัญจึงอยู่ที่ "การเสียรูปในแนวรัศมี" หรือการป่องออกของขวด ซึ่งบ่งบอกถึงความแข็งแรง (Stiffness) ของโครงสร้าง โดยการวัดระยะการป่องออกสูงสุด (Max Lateral Deflection) บริเวณไหล่ขวดได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบระยะการเสียรูปสูงสุดในแนวนอน (Maximum Lateral Deformation)

ชนิดวัสดุ (Material)	ระยะยุบตัวแนวดิ่ง (Vertical Disp.)	ระยะป่องออกด้านข้างสูงสุด (Max Lateral Bulging)
Virgin PET	5.00 mm	1.85 mm
100% rPET	5.00 mm	2.42 mm

จากตารางที่ 4.2 พบว่าขวด rPET 100% มีการขยายตัวออกด้านข้างมากกว่าขวด Virgin PET ถึง ร้อยละ 30.80 ซึ่งยืนยันได้ว่าวัสดุ rPET ที่ความหนา 0.25 มิลลิเมตร มีความต้านทานต่อการเสียรูปต่ำกว่า และมีแนวโน้มที่จะเสียรูปทรงถาวรได้ง่ายกว่าเมื่อเกิดการกระแทกหรือกดทับในการใช้งานจริง

4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการเสียรูป (Load-Displacement Analysis) เพื่อให้เห็นถึงความสามารถในการรับแรง (Load Capacity) และพฤติกรรมทางกลของขวดน้ำดื่มตลอดกระบวนการกดทับ ผู้วิจัยได้นำผลการจำลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยา (Reaction Force) และระยะการเสียรูป (Displacement) ดังแสดงใน ภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด (Top-load Force) และระยะการเสียรูป (Displacement)

เปรียบเทียบระหว่างขวด Virgin PET และขวด 100% rPET ที่ความหนาผนัง 0.25 มิลลิเมตร

จากภาพที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด (Load) และระยะการเสียรูป (Displacement) ที่ความหนาผนัง 0.25 มิลลิเมตร ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าขวด Virgin PET (เส้นสีน้ำเงิน) สามารถรับแรงกดสูงสุดได้ประมาณ 282.50 นิวตัน ในขณะที่ขวด rPET 100% (เส้นสีส้ม) สามารถรับแรงกดสูงสุดได้เพียง 245.80 นิวตัน โดยเส้นกราฟของ Virgin PET มีความชันที่สูงกว่าเล็กน้อยในช่วง Elastic Zone (0-2 มม.) ซึ่งบ่งชี้ถึงความอดุลัสความยืดหยุ่นที่สูงกว่า ส่วนกราฟของ rPET เริ่มเข้าสู่จุดคราก (Yielding Plateau) ที่ระดับแรงต่ำกว่าอย่างชัดเจน แสดงถึงประสิทธิภาพการรับแรงที่ลดลงจากการใช้วัสดุรีไซเคิล

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (Model Validation and Reliability)

เพื่อให้แน่ใจว่าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำและสามารถใช้ทำนายพฤติกรรมของขวดได้อย่างน่าเชื่อถือ โดยดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องผ่าน 2 วิธีการหลัก ดังนี้

4.4.1 การทดสอบความลู่เข้าของเมช (Mesh Convergence Test) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความไวของขนาดองค์ประกอบย่อย (Mesh Sensitivity Analysis) โดยการปรับลดขนาดของเอลิเมนต์ (Element Size) จาก 5.0 มม. ลงจนถึง 0.5 มม. เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Von Mises Stress) ผลการทดสอบพบว่าเมื่อขนาดเอลิเมนต์มีขนาดเล็กกว่า 1.0 มม. ค่าความเค้นที่คำนวณได้เริ่มมีความคงที่ โดยมีความแตกต่างของผลลัพธ์น้อยกว่าร้อยละ 1 ดังนั้น จึงเลือกใช้ขนาดเอลิเมนต์ที่ 1.0 มม. ซึ่งเป็นจุดที่ให้ความแม่นยำสูงและใช้ระยะเวลาในการประมวลผลที่เหมาะสม

4.4.2 การเปรียบเทียบกับผลการศึกษาก่อนหน้า (Comparison with Previous Studies) เนื่องจากการศึกษา เป็นการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ จึงได้นำผลการวิเคราะห์แรงกดทับสูงสุด (Top-load capacity) ของขวด Virgin PET ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (282.50 นิวตัน) ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบเชิงทดลองและแบบจำลองของ Han และ Kim [6] รวมถึง Masood [7] ซึ่งศึกษาขวดที่มีปริมาตรและรูปทรงใกล้เคียงกัน พบว่าค่าความคลาดเคลื่อน (Relative Error) อยู่ในช่วงร้อยละ 5-8 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทางวิศวกรรม (โดยทั่วไปไม่เกินร้อยละ 10)

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แรงกดทับสูงสุดจากแบบจำลองกับข้อมูลอ้างอิง

รายการเปรียบเทียบ	แรงกดสูงสุด (นิวตัน)	ส่วนต่าง (%)	อ้างอิง
แบบจำลองปัจจุบัน (Virgin PET)	282.50	-	งานวิจัยนี้
ผลการทดสอบเชิงตัวเลข (Han & Kim)	268.40	5.25%	[6]
ผลการทดสอบเชิงตัวเลข (Masood)	295.10	4.27%	[7]

จากการตรวจสอบข้างต้น แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้นมีระดับความแม่นยำที่เพียงพอในการนำไปใช้ทำนายพฤติกรรมการรับแรงของขวด rPET 100% ในอนาคต

4.4.3 การตรวจสอบความสอดคล้องเชิงกลศาสตร์ (Mechanical Consistency Verification)

นอกเหนือจากการตรวจสอบเชิงตัวเลขและการเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าแล้ว ได้มีการพิจารณาความสอดคล้องของผลลัพธ์กับหลักการทางกลศาสตร์ของวัสดุและโครงสร้าง พบว่าแนวโน้มของผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับทฤษฎี กล่าวคือ วัสดุ rPET ซึ่งมีค่า Young's Modulus ต่ำกว่า Virgin PET แสดงพฤติกรรมการเสียรูปที่มากกว่าและมีความสามารถในการรับแรงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองที่พบว่าขวด rPET มีค่า lateral deformation สูงกว่าและค่า top-load capacity ต่ำกว่า นอกจากนี้ การกระจายตัวของความเค้นสูงสุดที่บริเวณคอขวดและไหล่ขวดยังสอดคล้องกับทฤษฎีการโก่งเดาะของโครงสร้างผนังบาง (Thin-walled structure buckling) ซึ่งมักเกิดขึ้นในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของเรขาคณิตและความหนาอย่างฉับพลัน ผลลัพธ์ดังกล่าวยืนยันว่าแบบจำลองสามารถสะท้อนพฤติกรรมทางกลของโครงสร้างได้อย่างสมเหตุสมผล

4.5 อภิปรายผลเชิงกลศาสตร์ (Macro Mechanical Discussion)

จากผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสามารถพิจารณาพฤติกรรมเชิงกลของโครงสร้างขวดน้ำดื่มในระดับมหภาคได้อย่างชัดเจน โดยพบว่าโครงสร้างของขวดซึ่งมีลักษณะเป็นโครงสร้างผนังบาง (thin-walled structure) มีแนวโน้มเกิดการวิบัติในรูปแบบการโก่งเดาะ (buckling) มากกว่าการเสียรูปแบบยึดตัว (tensile failure) เมื่อรับแรงกดในแนวตั้ง การกระจายตัวของความเค้นสูงสุดที่บริเวณคอขวดและไหล่ขวดสามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงของเรขาคณิตและความโค้งของโครงสร้าง ซึ่งส่งผลให้เกิดการรวมตัวของความเค้น (stress concentration) ในบริเวณดังกล่าว เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น ความไม่เสถียรเชิงโครงสร้าง (structural instability) จะเริ่มเกิดขึ้นและนำไปสู่การโก่งเดาะเฉพาะที่ (local buckling) ก่อนที่จะพัฒนาเป็นการพยับถาวรในระดับโครงสร้าง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างวัสดุ Virgin PET และ rPET 100% พบว่าวัสดุ rPET มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Young's Modulus) ต่ำกว่า ส่งผลให้มีความแข็งแรงเชิงโครงสร้าง (structural stiffness) ลดลง และมีแนวโน้มเกิดการเสียรูปด้านข้าง (lateral deformation) ได้ง่ายกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่แสดงให้เห็นว่าขวด rPET มีความสามารถในการรับแรงกดต่ำกว่า และเข้าสู่สภาวะวิบัติเร็วกว่า นอกจากนี้ผลการทดสอบความถี่ของเมฆยังยืนยันว่าพฤติกรรมที่ไม่ขึ้นกับขนาดเมฆ และมีเสถียรภาพเชิงตัวเลข ทำให้สามารถเชื่อถือได้ว่าผลการวิเคราะห์สะท้อนพฤติกรรมจริงของ

โครงสร้างในระดับมหภาค โดยสรุป กลไกการวิบัติของขวดน้ำดื่มภายใต้แรงกดทับถูกควบคุมโดยปัจจัยหลัก ได้แก่ ความแข็งแรงของวัสดุ รูปร่างทางเรขาคณิต และความไม่เสถียรเชิงโครงสร้าง ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบและปรับปรุงขวดพลาสติกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการใช้งานจริง พฤติกรรมดังกล่าวสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ด้วยแนวคิด critical buckling load ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรงของวัสดุและพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของโครงสร้าง

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

การวิจัยเรื่อง "การวิเคราะห์ความแข็งแรงของขวดน้ำดื่มพลาสติกรีไซเคิล (rPET) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์" มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกลและเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกดทับระหว่างขวดที่ผลิตจาก Virgin PET และ rPET 100% ที่ความหนาผนัง 0.25 มิลลิเมตร โดยสามารถสรุปผลและอภิปรายผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

จากการจำลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Simulation) ภายใต้สภาวะแรงกดทับในแนวตั้ง (Top-load Test) ด้วยระยะการกด 5 มิลลิเมตร ได้ข้อสรุปดังนี้

1. ความสามารถในการรับแรง (Load Capacity) ขวดที่ผลิตจาก rPET 100% มีความแข็งแรงลดลงเมื่อเทียบกับ Virgin PET โดยขวด Virgin PET สามารถรับแรงกดสูงสุดได้ 282.50 นิวตัน ในขณะที่ขวด rPET 100% รับได้เพียง 245.80 นิวตัน ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพที่ลดลงประมาณ ร้อยละ 13.0
2. พฤติกรรมการเสียหาย (Failure Mode) ทั้งสองกรณีเกิดการเสียหายในรูปแบบ การโก่งเดาะ (Buckling) บริเวณคอขวดและไหล่ขวด (Neck and Shoulder) เหมือนกัน แต่ขวด rPET 100% จะแสดงระยะการป่องออกด้านข้าง (Lateral Bulging) ที่มากกว่า แสดงถึงเสถียรภาพของโครงสร้างที่ต่ำกว่า
3. ความเค้นวิกฤต (Critical Stress) ที่ระดับการเสียรูปเท่ากัน เนื้อวัสดุ rPET เกิดความเค้นสะสมสูงกว่าและเกินค่าจุดคราก (Yield Strength) เร็วกว่า Virgin PET ส่งผลให้เกิดการเสียรูปถาวรได้ง่ายกว่า

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนวัสดุจาก Virgin PET เป็น rPET 100% ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกดทับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แม้จะใช้รูปทรงเรขาคณิตเดียวกัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของสมบัติวัสดุต่อเสถียรภาพเชิงโครงสร้างของขวดน้ำดื่ม จากมุมมองทางวิศวกรรม ผลลัพธ์ดังกล่าวบ่งชี้ว่าการนำ rPET 100% มาใช้งานโดยไม่ปรับปรุงการออกแบบอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดการโก่งเดาะระหว่างกระบวนการขนส่งและการจัดเรียงซ้อน ในขณะเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งความเค้นวิกฤตยังชี้ให้เห็นแนวทางในการปรับปรุงการออกแบบ เช่น การเสริมความแข็งแรงเฉพาะบริเวณคอขวดและไหล่ขวด เพื่อชดเชยการลดลงของสมบัติวัสดุ การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในลักษณะนี้สามารถช่วยลดการทดลองเชิงกายภาพแบบลองผิดลองถูก และสนับสนุนการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากวัสดุรีไซเคิลที่มีความยั่งยืนและเชื่อถือได้ในระดับอุตสาหกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

เพื่อให้สามารถนำขวด rPET 100% มาใช้งานจริงได้อย่างปลอดภัยและคุ้มค่า มีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับภาคอุตสาหกรรม (Practical Recommendations)

- การชดเชยความหนา (Thickness Compensation) หากต้องการใช้ rPET 100% ควรพิจารณาเพิ่มความหนาผนังขวดจาก 0.25 มม. เป็น 0.28 - 0.30 มม. เพื่อชดเชยค่าความแข็งแรงที่หายไป 13% จะช่วยให้ขวดรับแรงได้เทียบเท่ากับขวด Virgin PET เดิม
- การปรับปรุงรูปทรง (Design Optimization) ควรเพิ่มสันนูน (Ribs) หรือลอนเสริมแรงบริเวณไหล่ขวด (Shoulder) เพื่อเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) ซึ่งจะช่วยต้านทานการพังงอในจุดวิกฤตได้โดยไม่ต้องเพิ่มเนื้อพลาสติกทั้งใบ

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต (Future Research)

- การศึกษาอัตราส่วนผสม (Blending Ratio) ควรศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง Virgin PET และ rPET (เช่น 30%, 50%, 70%) เพื่อหา "จุดคุ้มทุน" ที่ได้ทั้งความแข็งแรงและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
- การจำลองสถานการณ์อื่น (Other Loading Cases) ควรศึกษาการรับแรงในรูปแบบอื่น เช่น แรงกดด้านข้าง (Side Load) จากการหยิบจับ หรือการตกกระแทก (Drop Test) เพื่อให้ครอบคลุมพฤติกรรมการใช้งานจริง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7).
- [2] Ellen MacArthur Foundation. (2021). *The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics*.
- [3] Benyathiar, P., Kumar, P., & Carpenter, G. (2022). Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review. *Polymers*, 14(12), 2366.
- [4] Awan, Q. I., et al. (2021). Mechanical and thermal properties of recycled PET/virgin PET blends. *Journal of Applied Polymer Science*.
- [5] Park, S. H., & Kim, S. H. (2019). Poly (ethylene terephthalate) recycling for high value added textiles. *Fashion and Textiles*, 1-17.
- [6] Han, J., & Kim, D. (2018). Analysis of Top Load Strength of PET Bottles using Finite Element Method. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*.
- [7] Masood, S. H., & Keshava Murthy, K. (2017). Finite element analysis of top-load strength of blow moulded PET bottles. *Journal of Materials Processing Technology*.
- [8] Demirel, B., & Yaraş, A. (2020). Prediction of top-load strength of PET bottles by using artificial neural networks and finite element analysis. *Polymer Testing*, 91, 106828.
- [9] Salazar, R., et al. (2023). Design optimization of PET bottles for 100% recycled content integration using numerical simulation. *Resources, Conservation and Recycling*.

- [10] Thirumal, M., et al. (2020). Effect of rPET content on the mechanical properties and top load strength of bottles. *Packaging Technology and Science*.
- [11] Wan, Y., et al. (2019). Characterization of recycled polyethylene terephthalate (r-PET) from different sources. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(4), 47032.
- [12] Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
- [13] Hu, G., et al. (2018). Simulation and Optimization of the Top-Load Strength of PET Bottles. *Packaging Technology and Science*, 31(2), 123-130.

การออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทย

แบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตธนบุรี

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CULTURAL BOARD GAME INNOVATION
BASED ON THAI DESSERT CULTURAL CAPITAL WITH COMMUNITY PARTICIPATION
IN THONBURI DISTRICTกัมปนาท คูศิริรัตน์^{*1} ปณัดดา ไชบุญลือ¹ เที่ยรรธาดา หิรัญยชาตติธาดา¹ เกษม กมลชัยพิสิฐ¹Kampanat Kusirirat^{*1}, Panadda Jaiboonlue¹, Tiantada Hiranyachattada¹, Kasem Kamolchaipisit¹^{*1} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา^{*1} Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University^{*} E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): kampanat.co@bsru.ac.th

วันที่รับบทความ 21 มีนาคม 2569 วันที่แก้ไขบทความ 26 เมษายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 30 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกม 2) ประเมินคุณภาพต้นแบบนวัตกรรม และ 3) ประเมินการยอมรับการใช้นวัตกรรมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตธนบุรี กลุ่มตัวอย่างประเมินคุณภาพต้นแบบนวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทย ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านบอร์ดเกม จำนวน 5 คน กลุ่มชุมชน จำนวน 15 คน และกลุ่มตัวอย่างประเมินการยอมรับการใช้นวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทย ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านบอร์ดเกม จำนวน 5 คน และนักท่องเที่ยว จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์เชิงลึก แบบประเมินคุณภาพนวัตกรรม และแบบประเมินการยอมรับนวัตกรรม วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย พบว่า ได้นวัตกรรมบอร์ดเกมชื่อ ตึกชิงเจ้าดำรับชนมไทยฝั่งธนบุรี โดยใช้กลไกการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การบริหารจัดการทรัพยากรวัตถุดิบ การมีปฏิสัมพันธ์เพื่อส่งเสริมการเจรจา และการใช้การ์ดเหตุการณ์เพื่อสร้างความสมดุลและความท้าทาย โดยถ่ายทอดอัตลักษณ์ชนมไทยในพื้นที่เขตธนบุรี ผลประเมินคุณภาพต้นแบบนวัตกรรมบอร์ดเกมฯ จากผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มชุมชนพบว่า นวัตกรรมมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับ มาก โดยประเด็นด้านเนื้อหาที่รักษาคูณค่าทางวัฒนธรรม และด้านประโยชน์และการขยายผลได้รับคะแนนประเมินสูงสุด และผลการประเมินการยอมรับการใช้นวัตกรรมบอร์ดเกมฯ ผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มนักท่องเที่ยวมีการยอมรับนวัตกรรมในระดับ มาก โดยผู้ใช้เห็นว่าบอร์ดเกมเป็นเครื่องมือที่สร้างสรรค์ สนุกสนาน และเป็นสื่อกลางที่มีประสิทธิภาพในการเผยแพร่มรดกทางวัฒนธรรมที่จับต้องไม่ได้สู่กลุ่มคนรุ่นใหม่

คำสำคัญ: นวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรม; ชนมไทยเขตธนบุรี; การออกแบบแบบมีส่วนร่วม; การยอมรับการใช้เทคโนโลยี

ABSTRACT

The objectives of this research were to: 1) design and develop a board game innovation, 2) evaluate the prototype's quality, and 3) assess the user acceptance of the innovation based on Thai dessert cultural capital with community participation in the Thonburi District. The sample group for evaluating the prototype quality consisted of 5 board game experts and 15 community members. For the assessment of user acceptance, the sample group comprised 5 board game experts and 30 tourists. The research instruments included in-depth interviews, an innovation quality assessment form, and an acceptance evaluation form. Data were analyzed using Mean and Standard Deviation.

The research findings revealed that the developed board game innovation, titled "The Battle of Thonburi Dessert Masters," utilizes experiential learning mechanics consisting of three main components: ingredient resource management, social interaction to facilitate negotiation, and event cards to ensure gameplay balance and challenge. This game effectively reflects the identity of local Thai desserts within the Thonburi area. Prototype evaluation results from both experts and the community showed that the overall quality of the innovation was at a high level. Particularly, the areas of cultural preservation within the content and the utility for further expansion received the highest scores. Furthermore, the evaluation of user acceptance by experts and tourists indicated a high level of acceptance. Users perceived the board game as a creative and entertaining tool, serving as an effective medium for transmitting intangible cultural heritage to younger generations.

Keywords: Cultural Capital Board Game Innovation; Thonburi Thai Desserts; Participatory Design; Technology Acceptance Model

1. บทนำ

พื้นที่เขตธนบุรีของกรุงเทพมหานคร เป็นชุมชนเก่าแก่ที่มีความหลากหลายทางวัฒนธรรม กลุ่มชาติพันธุ์ และศาสนาที่หลากหลาย ได้แก่ ไทย อิสลาม จีน และโปรตุเกส ทำให้เกิดการผสมผสานทางวัฒนธรรมที่ปรากฏชัด ในอาหาร ขนม งานประเพณี และศิลปะการแสดง ขนมไทยในย่านนี้ เช่น ขนมฝรั่งกุฎีจีน ขนมบดิน ขนมสอดไส้ ขนมเปียกปูน เป็นผลผลิตของภูมิปัญญาที่ไม่เพียงแต่สะท้อนทักษะและวิธีการปรุงอาหารที่เชื่อมโยงกันมาอย่างยาวนาน [1] แต่ยังแฝงไว้ด้วยคุณค่าทางประวัติศาสตร์ ความเชื่อ และวิถีชีวิตของชุมชนฝั่งธนที่เชื่อมโยงกันมาหลาย ยุคสมัยอย่างยาวนานมรดกอันล้ำค่านี้กำลังเผชิญกับภัยคุกคามที่ร้ายแรงในยุคปัจจุบัน ปัญหาหลักคือการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสังคมและวิถีชีวิตคนเมืองที่ทำให้ภูมิปัญญาดั้งเดิมกำลังถูกกลืนเลือนไปอย่างรวดเร็ว ผู้ผลิตขนมไทยในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุที่เชี่ยวชาญ แต่กลับไม่มีผู้สืบทอดรุ่นใหม่ที่จะสานต่อ ทำให้ความรู้และ ทักษะเฉพาะทางที่สั่งสมมานานกำลังจะสูญหายไปพร้อมกับผู้สร้างสรรค์ นอกจากนี้ การขาดกลไกที่เหมาะสมในการ ถ่ายทอดองค์ความรู้ก็เป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญ ผู้ประกอบการขนาดเล็กในพื้นที่ขาดเครื่องมือที่ทันสมัยในการ เผยแพร่ข้อมูลและเรื่องราวของขนมไทย ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงกลุ่มคนรุ่นใหม่ได้เท่าที่ควร [1] ขนมที่มีจุดแข็งใน ด้านวัตถุดิบและรสชาติดั้งเดิมจึงยังไม่ได้ได้รับการพัฒนาให้มีมูลค่าเชิงวัฒนธรรมและเศรษฐกิจอย่างเต็มที่ ขาดระบบ การพัฒนาแบรนด์และช่องทางการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้โอกาสในการสร้างรายได้และสร้างความยั่งยืน ให้กับชุมชนต้องหยุดชะงักลง จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของผู้วิจัยพบว่า ผู้ประกอบการขนมไทยดั้งเดิมในพื้นที่ เขตธนบุรีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยร้อยละ 80 ของผู้ผลิตในปัจจุบันเป็นกลุ่มผู้สูงอายุและขาดผู้สืบทอดใน รุ่นต่อไปอย่างชัดเจน นอกจากนี้การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นการรู้จักขนมไทยในชุมชนเขตธนบุรีพบว่า กลุ่มเยาวชนรุ่น ใหม่ สามารถระบุชื่อหรือที่มาของขนมไทยในท้องถิ่นได้เพียงร้อยละ 30 เท่านั้น หากปัญหานี้ไม่ได้รับการแก้ไขอย่าง ทันท่วงที มรดกทางวัฒนธรรมของย่านธนบุรีอาจสูญหายไปอย่างถาวร ส่งผลกระทบต่อทั้งคุณค่าทางจิตใจและ โอกาสทางเศรษฐกิจของชุมชน

วิกฤตการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ไม่ได้เป็นเพียงแค่ปัญหาแต่ยังเป็นโอกาสสำคัญในการสร้างสรรค์สิ่งใหม่ที่จะมาช่วย พัฒนาและยกระดับคุณค่าของขนมไทยธนบุรีให้กลับมามีชีวิตชีวาอีกครั้ง ที่ผ่านมามีการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิง วัฒนธรรมในฝั่งธนบุรีแต่ยังขาดเครื่องมือที่คนในชุมชนมีส่วนร่วมในการออกแบบเนื้อหา จึงเป็นแนวคิดหลักของ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้นวัตกรรมบอร์ดเกมเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา บอร์ดเกมไม่ใช่แค่ของเล่นแต่เป็น แพลตฟอร์มการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมที่ทันสมัย สนุก และเข้าใจง่าย นวัตกรรมนี้จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อม ระหว่างคนรุ่นเก่าและคนรุ่นใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2] โดยจะรวบรวมข้อมูลเชิงวัฒนธรรม องค์ความรู้เกี่ยวกับ ขนมแต่ละชนิด ตั้งแต่ชื่อ ส่วนประกอบ วิธีการทำ ไปจนถึงแหล่งที่มาของวัตถุดิบในพื้นที่ แล้วนำมาเรียบเรียงผ่าน กลไกการเล่นเกมที่น่าสนใจ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เล่นสามารถเรียนรู้เรื่องราวของขนมไทยได้อย่างไม่น่าเบื่อและเป็นระบบ [3] ที่สำคัญคือ บอร์ดเกมยังจะเปิดโอกาสให้คนในชุมชนมีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเล่าเรื่องราวของตนเอง ทำให้ เกิดความรู้สึกเป็นเจ้าของร่วมและภาคภูมิใจในมรดกทางวัฒนธรรม และนำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกในระยะ ยาว คือ เป็นการเพิ่มผลิตภัณธ์เชิงวัฒนธรรมชนิดใหม่ของชุมชนธนบุรี ที่สะท้อนคุณค่าและเรื่องราวท้องถิ่น สร้าง

รายได้และเป็นตัวอย่างให้กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงวัฒนธรรมอื่น รวมถึงเป็นการสร้างช่องทางการถ่ายทอดความรู้ที่เป็นระบบ เนื่องจากเนื้อหาในบอร์ดเกมเป็นข้อมูลองค์ความรู้เรื่องชนมไทยเขตนบุรี สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนหรือเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อไป อีกทั้งบอร์ดเกมเป็นสื่อกลางในการสื่อสารเรื่องราวชนมไทยเขตนบุรีให้แพร่หลายไปยังกลุ่มคนรุ่นใหม่และประชาชนทั่วไป ทำให้ชนมไทยของเขตนบุรีเป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับมากขึ้นสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาสื่อมรดกทางวัฒนธรรมที่ต้องอาศัยกระบวนการออกแบบแบบมีส่วนร่วม เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับบริบทพื้นที่และได้รับการยอมรับจากคนในชุมชน [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี รวมทั้งการนำบอร์ดเกมมาใช้ยังเปิดโอกาสให้คนในชุมชนมีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเล่าเรื่องราวของตนเอง ทำให้เกิดความรู้สึกเป็นเจ้าของร่วม และความภาคภูมิใจในมรดกทางวัฒนธรรม การแปลงมรดกวัฒนธรรมที่จับต้องไม่ได้ให้อยู่ในรูปแบบที่เล่นได้ จะช่วยให้คนรุ่นใหม่สร้างความเข้าใจเชิงบูรณาการเกี่ยวกับคุณค่ามรดกภูมิปัญญาได้ดีกว่าสื่อดั้งเดิม [5] นอกจากนี้ การยอมรับในนวัตกรรมดังกล่าวยังสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) ในมิติของการรับรู้ถึงประโยชน์และความสนุกสนาน [6] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี เพื่อรักษาภูมิปัญญาของชาติให้คงอยู่สืบไปอย่างยั่งยืน

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี ได้รวบรวมประเด็นสำคัญเพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ทุนทางวัฒนธรรมและภูมิปัญญาชนมไทยพื้นถิ่น ตามแนวคิดของ Bourdieu [7] คือทรัพยากรที่บุคคลหรือกลุ่มครอบครองเพื่อสร้างคุณค่าทางสังคม เช่น ความรู้ ทักษะ และประเพณีที่ถ่ายทอดผ่านกระบวนการทางสังคม ในบริบทของชุมชน ทุนนี้แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ทุนที่ถ่ายทอดผ่านสายสัมพันธ์ ทุนที่ปรากฏในรูปวัตถุ และทุนในรูปคุณวุฒิที่ได้รับการยอมรับ [8] สำหรับภูมิปัญญาชนมไทยพื้นถิ่นถือเป็นผลผลิตทางวัฒนธรรมที่สะท้อนความสัมพันธ์ระหว่างคน ธรรมชาติ และความเชื่อ โดยอาศัยวัตถุดิบและทักษะเฉพาะถิ่น โดยเฉพาะในพื้นที่เขตนบุรีที่มีความหลากหลายของกลุ่มชาติพันธุ์ เช่น ไทย จีน มอญ และโปรตุเกส ส่งผลให้ชนมในพื้นที่มีรากเหง้าที่ผสมผสานอย่างโดดเด่น เช่น ชนมฝรั่งกุฎิจีน หรือชนมในประเพณีมอญ

2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมและฐานชุมชน การพัฒนาเครื่องมือเรียนรู้ต้องอิงตามทฤษฎีการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ของ Kolb [9] ที่เน้นวงจร 4 ขั้นตอน คือ การได้รับประสบการณ์ตรง การสะท้อนคิด การสร้างความเข้าใจ และการทดลองใช้ การเรียนรู้ในรูปแบบนี้เปลี่ยนบทบาทผู้เรียนให้เป็นผู้ร่วมสร้างความรู้ [10] โดยมีนักวิจัยทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก นอกจากนี้ แนวคิดการเรียนรู้ฐานชุมชน ยังช่วยเสริมสร้างจิตสำนึกพลเมือง โดยใช้ชุมชนเป็นห้องเรียนเพื่อเรียนรู้จากปัญหาและภูมิปัญญาจริง [11]

3. แนวคิดและกลไกของบอร์ดเกม เป็นนวัตกรรมที่ส่งเสริมการเรียนรู้เชิงรุกช่วยให้ผู้ใช้เข้าใจเนื้อหาผ่านความสนุกสนานและการคิดเชิงกลยุทธ์ องค์ประกอบสำคัญของบอร์ดเกมประกอบด้วย วัตถุประสงค์ กลุ่มผู้เล่น ธีมเรื่อง กลไกการเล่น อุปกรณ์ และกระบวนการทดสอบต้นแบบ การเรียนรู้ผ่านเกม ช่วยสร้างแรงจูงใจภายในและ

ให้ผลตอบกลับแก่ผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง [12] บอร์ดเกมยังทำหน้าที่เป็นพื้นที่ปลอดภัยในการลองผิดลองถูก ทำให้เหมาะสำหรับการถ่ายทอดทุนทางวัฒนธรรมในรูปแบบที่เข้าถึงง่ายและร่วมสมัย [9] สอดคล้องกับวิจัยของ นันทวัฒน์ ปานสุด [13] ได้ศึกษาการออกแบบบอร์ดเกมสร้างการรับรู้การท่องเที่ยวจังหวัดกำแพงเพชรที่มีการกำหนดรูปแบบการเล่นเชื่อมโยงกับการรับรู้ด้านเทศกาลประเพณี วัฒนธรรมอาหาร ของที่ระลึก สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์และแหล่งท่องเที่ยว จังหวัดกำแพงเพชร ผลประเมินความพึงพอใจและการสร้างการรับรู้การท่องเที่ยวในจังหวัดกำแพงเพชรอยู่ในระดับมาก

4. การออกแบบเชิงมีส่วนร่วมและการจัดการความรู้ เปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมีบทบาทเป็นผู้ร่วมออกแบบ ตั้งแต่เริ่มต้น [14] เพื่อให้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสะท้อนอัตลักษณ์ของชุมชนได้อย่างถูกต้อง กระบวนการนี้ยังเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการความรู้ เพื่อแปลงความรู้โดยนัยที่แฝงอยู่ในภูมิปัญญาชาวบ้านให้กลายเป็นความรู้ที่ชัดแจ้งและเข้าถึงได้ [15]

3. วิธีการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ กลุ่มชุมชน ประกอบด้วย ผู้นำชุมชน ผู้ประกอบการบริการและผลิตภัณฑ์เชิงวัฒนธรรม ชนมไทย กลุ่มคนในชุมชน ผู้เชี่ยวชาญด้านวัฒนธรรมบอร์ดเกม และนักท่องเที่ยวในเขตชลบุรี

กลุ่มตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มตัวอย่างประเมินคุณภาพต้นแบบนวัตกรรมบอร์ดเกมชนมไทย ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านวัฒนธรรมบอร์ดเกม จำนวน 5 คน และกลุ่มชุมชน จำนวน 15 คน เลือกแบบเจาะจง
2. กลุ่มตัวอย่างประเมินการยอมรับการใช้วัฒนธรรมบอร์ดเกมชนมไทย ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านบอร์ดเกม จำนวน 5 คน เลือกแบบเจาะจง และกลุ่มนักท่องเที่ยว จำนวน 30 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ ขนาดกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Roscoe [16]

ขอบเขตด้านตัวแปร

ตัวแปรอิสระ คือ นวัตกรรมบอร์ดเกมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตชลบุรี

ตัวแปรตาม คือ คุณภาพนวัตกรรมบอร์ดเกมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตชลบุรี และการยอมรับการใช้วัฒนธรรมบอร์ดเกมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตชลบุรี

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. บอร์ดเกมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตชลบุรี ที่มีการหาคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัฒนธรรมบอร์ดเกมและกลุ่มชุมชน
2. แบบสัมภาษณ์เชิงลึก ใช้เพื่อสกัดองค์ความรู้จากผู้นำชุมชน ผู้ประกอบการชนมไทย จำนวน 15 คน เครื่องมือนี้ประกอบด้วยชุดคำถามปลายเปิดที่ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มีค่าระหว่าง 0.67 – 1.00 สูงกว่าเกณฑ์ที่ 0.50 จึงถือว่าคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัยอย่างมีนัยสำคัญ
3. แบบประเมินคุณภาพนวัตกรรมบอร์ดเกมชนมไทยแบบมีส่วนร่วม เครื่องมือแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 25 ข้อ ใช้ประเมินคุณภาพใน 5 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านเนื้อหา การออกแบบและกลไก ภาพลักษณ์

การมีส่วนร่วม และประโยชน์ในการขยายผล ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มีค่าระหว่าง 0.67 - 1.00 และมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha Coefficient) เท่ากับ 0.89 สูงกว่าเกณฑ์ 0.70 สะท้อนถึงความสอดคล้องภายในของข้อคำถามที่แม่นยำ

4. แบบประเมินการยอมรับการใช้นวัตกรรมบอร์ดเกม เครื่องมือที่พัฒนาตามกรอบทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) เครื่องมือแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 20 ข้อ เพื่อวัดระดับการยอมรับในกลุ่มนักท่องเที่ยวและผู้เชี่ยวชาญ ครอบคลุมด้านการใช้งาน ความสนุก คุณค่าทางวัฒนธรรม และประโยชน์ที่รับรู้ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มีค่าระหว่าง 0.67 - 1.00 สูงกว่าเกณฑ์ที่ 0.50 และมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha Coefficient) เท่ากับ 0.84 สูงกว่าเกณฑ์ 0.70

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา REC-BSRU COA No. 690102 วันที่รับรอง 11 มกราคม 2569 โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นการศึกษาสภาพการณ์ชุมชนจากทุนทางวัฒนธรรมของชุมชนเขตนบุรี โดยศึกษาจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก ผู้นำชุมชน กลุ่มชุมชน ผู้ประกอบการบริการและผลิตภัณฑ์เชิงวัฒนธรรม โดยการเลือกแบบเจาะจง 15 คน และแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ หนังสือ ตำรา งานวิจัย และเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 วิเคราะห์หลักการและสภาพการณ์ ขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาหลักการและวิธีการผลิตนวัตกรรมบอร์ดเกม รวมทั้งการวิเคราะห์บริบททางสังคม สภาพแวดล้อมทั่วไปของชุมชนเขตนบุรี การดำเนินชีวิตทางวัฒนธรรมชุมชนที่เป็นเอกลักษณ์

1.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับองค์ความรู้วัฒนธรรมขนมไทยของชุมชนเขตนบุรี ในส่วนของวัตถุดิบส่วนผสม วิธีการทำ โดยดำเนินการศึกษาจากเอกสารทุติยภูมิ และทำการสร้างแนวคำถามเป็นการสร้างตัวอย่างแนวทางคำถาม จากนั้นรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึกจากกลุ่มชุมชน ผู้นำชุมชน ผู้ประกอบการขนมไทยเขตนบุรี จำนวน 15 คน แล้วเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีสรุปประเด็นสำคัญ

2. ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี มีการดำเนินการ 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 ขั้นก่อนการพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี เป็นขั้นตอนของการกำหนดแนวคิดและเนื้อหาของบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมขนมไทย โดยเริ่มจากการศึกษาบริบทของพื้นที่ชุมชนเขตนบุรี จากการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับวิถีชีวิต วัฒนธรรม และขนมไทยที่เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น เช่น ขนมฝรั่งกุฎีจีน ขนมบดิน ขนมเปียกปูน ขนมดอกจอก ขนมชั้น ขนมสอดไส้ เป็นต้น จากแหล่งสำคัญต่าง ๆ เช่น บ้านแซก วัดมอญ และชุมชนหิรัญรูจี เพื่อกำหนดโครงสร้างกลไกเกม กำหนดวิธีการเล่นเกม กำหนดวัตถุประสงค์การเล่น กำหนดภาพกราฟิก จากนั้นนำเสนอความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คนและผู้นำชุมชน คนในชุมชนและ

ผู้ประกอบการขนมไทย จำนวน 15 คน จากนั้นนำมาปรับปรุงแก้ไข และกำหนดแผนปฏิบัติการพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี

2.2 ขั้นการพัฒนาวัตกรรมการบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี เป็นขั้นตอนในการพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี ที่ได้ข้อมูลจากขั้นตอนก่อนการพัฒนาและผ่านการตรวจสอบแก้ไขจากผู้นำชุมชน กลุ่มชุมชน และผู้ประกอบการขนมไทย มาทำการออกแบบกลไกเกม กำหนดวิธีการเล่นเกม ออกแบบวัสดุการเล่น ออกแบบภาพกราฟิกและองค์ประกอบศิลป์ จากนั้นดำเนินการพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี จากนั้นนำร่างต้นแบบนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 คน และกลุ่มชุมชน จำนวน 15 คน เพื่อพิจารณาความเหมาะสม และนำไปใช้ในการดำเนินการขั้นตอนต่อไป

2.3 ขั้นการหลังการพัฒนาวัตกรรมการบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี เป็นขั้นตอนในการจัดทำต้นแบบนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี คู่มือประกอบการเล่น และทดสอบการเล่นนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี จากนั้นนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน และกลุ่มชุมชน จำนวน 15 คน เพื่อพิจารณาความเหมาะสม ปรับปรุงและแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

3. ขั้นการประเมินคุณภาพภาพและยอมรับการใช้วัตกรรมการบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรีที่พัฒนาขึ้น โดยดำเนินการดังนี้

3.1 ประเมินคุณภาพนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี โดยกลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน และกลุ่มชุมชน จำนวน 15 คน ประเมินคุณภาพด้วยแบบประเมินคุณภาพนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี มีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ โดยมีข้อคำถามเกี่ยวกับด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ ด้านประชาสัมพันธ์ และด้านภาพรวม เก็บรวบรวมข้อมูล และสรุปผลคุณภาพ

3.2 ประเมินการยอมรับการใช้วัตกรรมการบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี โดยผู้เชี่ยวชาญด้านบอร์ดเกมเชิงวัฒนธรรม จำนวน 5 คน และกลุ่มนักท่องเที่ยว จำนวน 30 คน และ พิจารณาด้านการยอมรับนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทย เก็บรวบรวมข้อมูล และสรุปผลการยอมรับการใช้วัตกรรมการบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี

4. ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี เป็นการนำบริบทเชิงพื้นที่และข้อมูลขนมไทยเชิงพื้นที่ที่ชุมชนเขตนบุรีที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกจากทุนทางวัฒนธรรมที่จับต้องไม่ได้ มาเปลี่ยนเป็นกลไกเกม วิธีการเล่นเกม การออกแบบการตักสูตรอาหารและการวัดวัตถุดิบ ทำให้นวัตกรรมบอร์ดเกมมีความถูกต้องทางบริบทวัฒนธรรมและสามารถทำหน้าที่สื่อกลางในการถ่ายทอดภูมิปัญญาการทำขนมไทยเขตนบุรีได้อย่างทรงคุณค่า ดังนี้

1.1 การออกแบบแนวทางกลไกการเล่น เน้นการวางแผนและการแลกเปลี่ยนทรัพยากรเพื่อสร้างการเรียนรู้เรื่องส่วนผสม จำลองสถานการณ์ได้เรียนรู้ว่าขนมแต่ละชนิดใช้วัตถุดิบ มีความยากง่ายในการทำอย่างไรผ่าน การรวบรวมการ์ด และได้ทราบถึงขนมไทยฝั่งธนบุรีแต่ละชนิดให้มีความหมายอย่างไรในชีวิตประจำวัน และสร้างการ มีปฏิสัมพันธ์ของผู้เล่นด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนวัตถุดิบส่งเสริมให้ผู้เล่นต้องเจรจาและวางแผนร่วมกัน สอดคล้องกับ แนวคิด Community Participation มีการใช้การ์ดเหตุการณ์เพื่อพลิกสถานการณ์ ทำให้ผู้เล่นมีคะแนนเหนือคู่แข่ง

1.2 รูปแบบเกมเป็นแนวเกมการ์ดปาร์ตี้ รองรับผู้เล่น 4-8 คน แบบผลัดกันเล่นเป็นรอบ ระยะเวลาในการเล่นต่อรอบ 15 - 20 นาที มีการ์ด 3 ประเภท ประกอบด้วย การ์ดสูตรขนมไทย การ์ดวัตถุดิบ และการ์ดเหตุการณ์ พิเศษ โดยมีกติกาและวิธีการเล่นดังนี้

- 1) ผู้ดำเนินการเล่น หยิบการ์ดขนมไทยจากกอง 1 ใบ ไว้ตรงกลาง
- 2) แจกการ์ดวัตถุดิบเริ่มต้นให้ผู้เล่นคนละ 3 ใบ
- 3) แต่ละรอบผู้เล่นจะจั่วการ์ดวัตถุดิบจากกองกลาง การ์ดในมือต้องมีไม่เกิน 6 ใบ กรณีได้การ์ด วัตถุดิบผู้เล่นสามารถเก็บหรือทิ้ง หรือทิ้งใบอื่นในกองทิ้งการ์ด กรณีได้การ์ดเหตุการณ์ต้องทำตามเหตุการณ์นั้นทันที และกรณีได้การ์ดพิเศษสามารถเก็บหรือทิ้งในกองทิ้งการ์ดได้
- 4) ผู้เล่นต้องรวบรวมวัตถุดิบให้ตรงตามสูตรขนมจากการ์ดขนมตรงกลาง
- 5) เมื่อครบสูตรสามารถวางการ์ดวัตถุดิบตามสูตรขมนั้นลงบนโต๊ะและรับการ์ดขนมไทยไปได้ด้านหน้า ผู้เล่นการเล่น และหยิบการ์ดจากกอง 1 ใบ กรณีการ์ดขนมไทย มีเครื่องหมาย + ผู้เล่นสามารถนำการ์ดวัตถุดิบใน มือ วางเพิ่มได้
- 6) ผู้เล่นที่ทำขนมครบ 3 ชนิดก่อน หรือเมื่อการ์ดวัตถุดิบกองกลางหมด จะจบเกม
- 7) นับคะแนนรวมจากการ์ดขนมไทยที่ทำได้ และการ์ดที่อยู่ในมือผู้เล่นที่ได้คะแนนสูงสุดเป็นผู้ชนะ

1.3 การออกแบบการ์ดที่ใช้ในวัตรกรรมบอร์ดเกม โดยประกอบด้วย กลุ่มการ์ดสูตรขนมไทย กลุ่มการ์ด วัตถุดิบ และกลุ่มการ์ดเหตุการณ์พิเศษ ผลการออกแบบดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างการ์ดสำหรับบอร์ดเกมวัฒนธรรมขนมไทย

2. ผลการประเมินคุณภาพต้นแบบนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตธนบุรี โดยกลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านบอร์ดเกมเชิงวัฒนธรรม จำนวน 5 คน และกลุ่มชุมชน จำนวน 15 คน ประเมินคุณภาพด้วย แบบประเมินคุณภาพนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตธนบุรี โดยมีข้อคำถามเกี่ยวกับด้าน เนื้อหา ด้านการออกแบบและกลไกการเล่น ด้านภาพลักษณ์ของบอร์ดเกม ด้านส่งเสริมการมีส่วนร่วม และด้าน ประโยชน์และขยายผล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพต้นแบบนวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนนบุรี

หัวข้อการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (n=5)			กลุ่มชุมชน (n=15)		
	M	S.D.	แปลผล	M	S.D.	แปลผล
ด้านเนื้อหา						
1. เนื้อหาของบอร์ดเกมมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.20	0.84	มาก	4.07	0.59	มาก
2. ปริมาณของเนื้อหาของบอร์ดเกมและความชัดเจนของเนื้อหาที่น่าสนใจมีความเหมาะสม	4.40	0.55	มาก	3.87	0.83	มาก
3. เนื้อหาของบอร์ดเกมสามารถสื่อสารเรื่องราวของขนมไทยหรือชุมชนได้อย่างชัดเจน	4.00	0.71	มาก	3.53	0.83	มาก
4. ภาษาที่ใช้ในบอร์ดเกมมีความเหมาะสมและถูกต้องตามบริบททางวัฒนธรรม	4.40	0.55	มาก	4.00	0.85	มาก
5. องค์ประกอบโดยรวมของบอร์ดเกมส่งเสริมและรักษาคุณค่าทางวัฒนธรรมของขนมไทย	4.20	0.45	มาก	4.20	0.77	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านเนื้อหา	4.24	0.60	มาก	3.93	0.79	มาก
ด้านการออกแบบและกลไกการเล่น						
6. กฎและกติกาของเกมมีความชัดเจน เข้าใจง่าย และสมเหตุสมผล	4.40	0.55	มาก	3.87	0.83	มาก
7. กลไกของเกมมีความท้าทายและทำให้ผู้เล่นรู้สึกสนุกสนาน	4.00	0.71	มาก	3.93	0.80	มาก
8. ระยะเวลาที่ใช้ในการเล่นเหมาะสมกับรูปแบบและวัตถุประสงค์	3.60	0.89	มาก	4.00	0.65	มาก
9. การออกแบบมีความสมดุลทำให้ผู้เล่นทุกกลุ่มสามารถแข่งขันหรือร่วมมือได้อย่างเท่าเทียม	4.20	0.54	มาก	3.80	1.01	มาก
10. บอร์ดเกมมีความเป็นไปได้ในการเล่นซ้ำโดยไม่ทำให้ผู้เล่นรู้สึกเบื่อ	4.00	0.71	มาก	4.07	0.80	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านการออกแบบและกลไกการเล่น	4.04	0.73	มาก	3.93	0.81	มาก

ด้านภาพลักษณ์ของบอร์ดเกม

11. การออกแบบกราฟิกและภาพประกอบมีความสวยงามและน่าดึงดูดใจ	4.00	0.71	มาก	4.07	0.80	มาก
12. การใช้สีและรูปแบบตัวอักษรสอดคล้องกับภาพลักษณ์ของขนมไทยและวัฒนธรรมไทย	4.20	0.45	มาก	4.13	0.83	มาก

หัวข้อการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (n=5)			กลุ่มชุมชน (n=15)		
	M	S.D.	แปลผล	M	S.D.	แปลผล
13. การจัดวางองค์ประกอบต่างๆ บนกระดานและชิ้นส่วนบอร์ดเกมมีความเป็นระเบียบและใช้งานง่าย	4.00	0.71	มาก	4.00	0.53	มาก
14. วัสดุและคุณภาพการผลิตต้นแบบมีความทนทานและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง	3.60	0.55	มาก	4.07	0.88	มาก
15. การออกแบบบรรจุภัณฑ์มีความน่าสนใจและสื่อสารแนวคิดของบอร์ดเกมได้อย่างดี	4.40	0.55	มาก	3.80	0.94	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านภาพลักษณ์ของบอร์ดเกม	4.12	0.73	มาก	4.01	0.80	มาก
ด้านการส่งเสริมการมีส่วนร่วม						
16. บอร์ดเกมสามารถส่งเสริมให้ผู้เล่นเกมเกิดการเรียนรู้และเข้าใจเกี่ยวกับขนมไทยและทุนทางวัฒนธรรมได้จริง	4.40	0.55	มาก	4.00	0.65	มาก
17. บอร์ดเกมมีส่วนช่วยกระตุ้นการปฏิสัมพันธ์และการมีส่วนร่วมของผู้เล่นเกมในชุมชนหรือกลุ่มผู้เล่นต่างๆ	4.20	0.45	มาก	4.07	0.70	มาก
18. บอร์ดเกมนี้ส่งเสริมทักษะที่จำเป็นอื่นๆ เช่น ทักษะการคิดวิเคราะห์ การวางแผน หรือการทำงานร่วมกัน	4.00	0.71	มาก	3.87	0.64	มาก
19. การออกแบบโดยรวมสะท้อนถึงกระบวนการมีส่วนร่วมกับชุมชน ในการพัฒนาอย่างแท้จริง	3.60	1.14	มาก	4.13	0.64	มาก
20. นวัตกรรมนี้สามารถเข้าถึงและใช้งานได้ง่ายสำหรับกลุ่มผู้เล่นที่มีความหลากหลายทางอายุหรือภูมิหลัง	4.60	0.55	มากที่สุด	4.27	0.80	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านส่งเสริมการมีส่วนร่วม	4.16	0.75	มาก	4.07	0.68	มาก
ด้านประโยชน์และขยายผล						
21. นวัตกรรมบอร์ดเกมนี้มีประโยชน์ใช้สอยในการเป็นสื่อการเรียนรู้ทางเลือกที่ใช้งานได้จริง	4.40	0.55	มาก	4.13	0.83	มาก
22. นวัตกรรมบอร์ดเกมมีโอกาสนำไปใช้ ในกิจกรรมส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตธนบุรี	4.20	0.45	มาก	3.93	0.88	มาก
23. ความเป็นไปได้ในการผลิตซ้ำหรือนำไปพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์	4.00	0.71	มาก	4.20	0.56	มาก

หัวข้อการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (n=5)			กลุ่มชุมชน (n=15)		
	M	S.D.	แปลผล	M	S.D.	แปลผล
24. นวัตกรรมบอร์ดเกมนี้มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนเมื่อเทียบกับประโยชน์ที่จะได้รับ	4.20	0.84	มาก	4.07	0.80	มาก
25. นวัตกรรมบอร์ดเกมนี้สร้างความภาคภูมิใจและความรู้สึกเป็นเจ้าของให้กับชุมชนที่ร่วมสร้างสรรค์	4.40	0.55	มาก	4.33	0.72	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านประโยชน์และขยายผล	4.24	0.60	มาก	4.07	0.67	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.14	0.66	มาก	4.03	0.79	มาก

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน พบว่านวัตกรรมบอร์ดเกมมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับ มาก โดยผู้เชี่ยวชาญให้ค่าเฉลี่ยรวมที่ $M = 4.14$, $S.D. = 0.66$ เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านเนื้อหา ผลประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.24$, $S.D. = 0.60$) ด้านการออกแบบและกลไกการเล่น ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.04$, $S.D. = 0.73$) ด้านภาพลักษณ์ของบอร์ดเกม ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.12$, $S.D. = 0.73$) ด้านการส่งเสริมการมีส่วนร่วม ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.16$, $S.D. = 0.75$) และด้านประโยชน์และขยายผล ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.24$, $S.D. = 0.60$) ในส่วนผลการประเมินจากกลุ่มชุมชน จำนวน 15 คน พบว่า นวัตกรรมบอร์ดเกมมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.03$, $S.D. = 0.79$) สะท้อนถึงความสำเร็จในการพัฒนานวัตกรรมที่ตอบโจทย์ทั้งในเชิงวิชาการและการใช้งานจริงในพื้นที่ เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านเนื้อหา ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 3.93$, $S.D. = 0.79$) ด้านการออกแบบและกลไกการเล่น ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 3.93$, $S.D. = 0.81$) ด้านภาพลักษณ์ของบอร์ดเกม ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.01$, $S.D. = 0.80$) ด้านการส่งเสริมการมีส่วนร่วม ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.01$, $S.D. = 0.68$) และด้านประโยชน์และขยายผล ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.07$, $S.D. = 0.77$)

3. ผลการประเมินการยอมรับการใช้นวัตกรรมบอร์ดเกมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี โดยกลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน และ กลุ่มนักท่องเที่ยว จำนวน 30 คน ประเมินการยอมรับด้วยแบบประเมินการยอมรับการใช้นวัตกรรมบอร์ดเกมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตนบุรี โดยมีข้อคำถามเกี่ยวกับด้านการใช้งานและความง่ายในการใช้ ด้านความสนุกและความน่าสนใจ ด้านการเรียนรู้และคุณค่าทางวัฒนธรรม และด้านการยอมรับการใช้และประโยชน์ที่รับรู้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลประเมินการยอมรับการใช้นวัตกรรมบอร์ดเกมชนมไทยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตรุนบุรี โดยผู้เชี่ยวชาญ (n=5) และกลุ่มนักท่องเที่ยว (n=30)

หัวข้อการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (n=5)			กลุ่มนักท่องเที่ยว (n=30)		
	M	S.D.	แปลผล	M	S.D.	แปลผล
ด้านการใช้งานและความง่ายในการใช้						
1. คู่มือหรือวิธีการเล่นเกมมีความชัดเจนและง่ายต่อการทำความเข้าใจ	4.20	0.84	มาก	3.93	1.03	มาก
2. ชิ้นส่วนและองค์ประกอบต่างๆ ในเกมมีความสะดวกในการหยิบจับและใช้งาน	4.40	0.55	มาก	3.87	0.83	มาก
3. ท่านสามารถเริ่มเล่นเกมได้อย่างรวดเร็วและไม่สับสนในกติกา	4.00	0.71	มาก	4.00	0.93	มาก
4. การออกแบบกระดานและไอคอนต่างๆ ในเกมมีความชัดเจน ช่วยให้เล่นได้ง่าย	4.40	0.55	มาก	4.13	0.92	มาก
5. ท่านรู้สึกว่าการเล่นเกมนี้ไม่ซับซ้อนหรือยุ่งยากจนเกินไป	4.20	0.45	มาก	3.67	0.90	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านการใช้งานและความง่ายในการใช้	4.24	0.60	มาก	3.92	0.91	มาก
ด้านความสนุกและความน่าสนใจ						
6. ท่านรู้สึกสนุกสนานและตื่นเต้นขณะเล่นเกมนี้	4.20	0.84	มาก	3.93	0.59	มาก
7. กลไกการเล่นของเกมมีความท้าทายและทำให้ท่านต้องการเล่นจนจบ	3.60	0.55	มาก	3.73	0.96	มาก
8. การออกแบบโดยรวมของบอร์ดเกมมีความสวยงามและดึงดูดความสนใจของท่าน	4.40	0.55	มาก	3.80	0.86	มาก
9. ท่านรู้สึกว่าบอร์ดเกมนี้เหมาะสำหรับการเล่นซ้ำในอนาคต	4.20	0.45	มาก	3.93	0.80	มาก
10. ท่านจะแนะนำบอร์ดเกมนี้ให้กับเพื่อนหรือคนรู้จัก	4.00	0.71	มาก	4.13	0.83	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านความสนุกและความน่าสนใจ	4.08	0.64	มาก	3.91	0.81	มาก
ด้านการเรียนรู้และคุณค่าทางวัฒนธรรม						
11. ท่านได้รับความรู้ใหม่ๆ เกี่ยวกับชนมไทยในเขตรุนบุรีจากการเล่นเกมนี้	3.80	0.45	มาก	4.00	0.85	มาก

หัวข้อการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (n=5)			กลุ่มนักท่องเที่ยว (n=30)		
	M	S.D.	แปลผล	M	S.D.	แปลผล
12. เกมสามารถถ่ายทอดเรื่องราว (Story) และที่มาของขนมไทยได้อย่างน่าสนใจ	3.80	1.10	มาก	3.93	0.80	มาก
13. ท่านรู้สึกว่าการเล่นเกมมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์และสืบทอดวัฒนธรรมขนมไทย	4.00	0.71	มาก	4.00	0.65	มาก
14. ท่านรู้สึกภูมิใจในวัฒนธรรมขนมไทยของเขตนบุรีมากขึ้นหลังจากเล่นเกม	3.60	0.55	มาก	3.87	1.06	มาก
15. บอร์ดเกมนี้เป็นสื่อการเรียนรู้ที่น่าสนใจและดีกว่าวิธีการเรียนรู้แบบดั้งเดิม	4.40	0.55	มาก	4.07	0.80	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านการเรียนรู้และคุณค่าทางวัฒนธรรม	3.92	0.70	มาก	3.97	0.82	มาก
ด้านการยอมรับการใช้และประโยชน์ที่รับรู้						
16. บอร์ดเกมนี้มีประโยชน์ในการใช้ป็นกิจกรรมสันทนาการร่วมกันในชุมชน	4.40	0.55	มาก	3.93	0.80	มาก
17. ท่านมองว่านวัตกรรมบอร์ดเกมนี้เป็นเครื่องมือที่สร้างสรรค์และมีคุณค่า	4.20	0.45	มาก	4.00	0.85	มาก
18. ท่านต้องการให้มีการผลิตและเผยแพร่บอร์ดเกมนี้เพื่อใช้งานจริงในพื้นที่เขตนบุรี	4.00	0.45	มาก	4.07	0.59	มาก
19. ท่านเชื่อว่าบอร์ดเกมนี้จะประสบความสำเร็จในการเป็นสื่อเผยแพร่ทุนทางวัฒนธรรม	3.60	0.71	มาก	4.27	0.70	มาก
20. โดยภาพรวมแล้ว ท่านยอมรับการใช้นวัตกรรมบอร์ดเกมขนมไทยนี้	4.00	1.14	มาก	4.33	0.72	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมด้านการยอมรับการใช้และประโยชน์ที่รับรู้	4.04	0.71	มาก	4.12	0.73	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.07	0.67	มาก	3.98	0.82	มาก

ผลการประเมินยอมรับการใช้นวัตกรรมจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่านวัตกรรมบอร์ดเกมมีผลประเมินโดยรวมอยู่ในระดับ มาก ($M = 4.07$, $S.D. = 0.67$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการใช้งานและความง่ายในการใช้ อยู่ในระดับ มาก ($M = 4.24$, $S.D. = 0.60$) ด้านความสนุกและความน่าสนใจ อยู่ในระดับ มาก

($M = 4.08$, $S.D. = 0.64$) ด้านการเรียนรู้และคุณค่าทางวัฒนธรรม อยู่ในระดับ มาก ($M = 3.92$, $S.D. = 0.70$) และด้านการยอมรับการใช้และประโยชน์ที่รับรู้ อยู่ในระดับ มาก ($M = 4.04$, $S.D. = 0.71$) ในส่วนผลการประเมินยอมรับการใช้นวัตกรรมจากกลุ่มนักท่องเที่ยว จำนวน 30 คน พบว่านวัตกรรมบอร์ดเกมมีผลประเมินโดยรวมอยู่ในระดับ มาก ($M = 3.98$, $S.D. = 0.82$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการใช้งานและความง่ายในการใช้ อยู่ในระดับ มาก ($M = 3.92$, $S.D. = 0.91$) ด้านความสนุกและความน่าสนใจ อยู่ในระดับ มาก ($M = 3.92$, $S.D. = 0.91$) ด้านการเรียนรู้และคุณค่าทางวัฒนธรรม อยู่ในระดับ มาก ($M = 3.97$, $S.D. = 0.82$) และด้านการยอมรับการใช้และประโยชน์ที่รับรู้ อยู่ในระดับ มาก ($M = 4.12$, $S.D. = 0.73$)

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

1. ผลการพัฒนานวัตกรรมจากทุนวัฒนธรรมผ่านกระบวนการออกแบบร่วมกัน พบว่ากระบวนการพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมศึกษาเชิงเจ้าตำรับขนมไทยฝั่งธนบุรี ประสบความสำเร็จในการแปลงทุนทางวัฒนธรรมพหุชาติพันธุ์ไทย อิสลาม จีน และโปรตุเกส ในพื้นที่ชุมชนเขตธนบุรี มาสู่สื่อการเรียนรู้สมัยใหม่ การผสมผสานกลไกการแลกเปลี่ยนทรัพยากรวัตถุดิบ เพื่อปรุงขนมโบราณ อาทิ ขนมฝรั่งกุฎีจีน หรือขนมบดิน เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ได้อย่างเป็นรูปธรรม

ความสำเร็จในมิตินี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zuljevic [4] ที่ระบุว่าการพัฒนาเครื่องมือสื่อสารมรดกทางวัฒนธรรมที่ยั่งยืนต้องอาศัยกระบวนการออกแบบแบบมีส่วนร่วม ตั้งแต่ขั้นตอนการสกัดอัตลักษณ์ชุมชนส่งผลให้นวัตกรรมมีความสอดคล้องกับบริบทพื้นที่และได้รับการยอมรับสูง นอกจากนี้ การที่บอร์ดเกมสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้แบบฝังลึกของผู้ผลิตขนมสูงวัยให้อยู่ในรูปแบบที่เล่นได้ ยังสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Xiang [5] ที่ชี้ว่าการแปลงมรดกวัฒนธรรมที่จับต้องไม่ได้ ให้อยู่ในรูปแบบเกมช่วยให้คนรุ่นใหม่สร้างความเข้าใจเชิงบูรณาการเกี่ยวกับคุณค่ามรดกภูมิปัญญาได้ดีกว่าสื่อดั้งเดิม

2. ผลประเมินคุณภาพของนวัตกรรมและการประเมินในมิติพหุสังคม โดยผู้เชี่ยวชาญ และกลุ่มชุมชนที่อยู่ในระดับมาก สะท้อนว่านวัตกรรมมีความสมบูรณ์ตามหลักการออกแบบสื่อการเรียนรู้ โดยเฉพาะด้านเนื้อหาที่มีความแม่นยำสูงเนื่องจากการตรวจสอบความถูกต้องจากคนในชุมชนเจ้าของวัฒนธรรมโดยตรง ประเด็นนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hou [17] ที่พบว่าการรวมเนื้อหาทางวัฒนธรรมเข้าไปในกลไกของเกมอย่างเป็นธรรมชาติช่วยให้ผู้เล่นซึมซับความรู้ได้โดยไม่รู้สึกรัดเยียด

นอกจากนี้ ผลประเมินด้านภาพลักษณ์ที่ได้รับคะแนนสูง บ่งชี้ว่าการออกแบบกราฟิกที่สะท้อนอัตลักษณ์ขนมไทยฝั่งธนบุรีมีผลต่อการสร้างการมีส่วนร่วมทางอารมณ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khan [2] ที่เสนอว่าสุนทรียภาพที่สอดคล้องกับบริบททางประวัติศาสตร์เป็นปัจจัยหลักในการกระตุ้นการมีส่วนร่วมทางปัญญาของผู้เล่น อย่างไรก็ตาม ประเด็นเรื่องความสมดุลระหว่างความลึกของเนื้อหากับระยะเวลาการเล่นที่ผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะไว้ สอดคล้องกับข้อเสนอที่ Malegiannaki [3] ได้ชี้แจงว่าบอร์ดเกมวัฒนธรรมจำเป็นต้องปรับระบบให้มีความสมดุล เพื่อสร้างประสบการณ์ความสนใจในการเล่นให้แก่ผู้เล่นที่มีภูมิหลังหลากหลาย

3. การยอมรับนวัตกรรมและศักยภาพการสร้างมูลค่าเพิ่มทางสังคม การยอมรับนวัตกรรมในระดับมาก จากทั้งผู้เชี่ยวชาญ และกลุ่มนักท่องเที่ยว สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) ในมิติการรับรู้ถึงประโยชน์ และความสนุกสนาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rungchareonkiat [6] ที่พบว่าสภาพแวดล้อมการเรียนรู้แบบเกมที่รองรับรูปแบบการเรียนรู้ที่หลากหลายส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจในการใช้งาน

ประเด็นสำคัญที่สุดคือการที่ชุมชนให้คะแนนด้านความภาคภูมิใจในวัฒนธรรมท้องถิ่นเป็นลำดับสูงสุด ยืนยันว่าบอร์ดเกมนี้ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสร้างความรู้สึกเป็นเจ้าของร่วมสอดคล้องกับที่ Zuljevic [4] ระบุว่าการมีส่วนร่วมในกระบวนการสร้างสรรค์ร่วมจะส่งผลให้วัฒนธรรมได้รับการเผยแพร่ต่ออย่างยั่งยืนในพื้นที่ ในมิติของการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม [18] ชี้ว่าการใช้การเล่นเกมในบริบทมรดกวัฒนธรรมช่วยยกระดับประสบการณ์นักท่องเที่ยวจากการรับชมเชิงรับไปสู่การมีส่วนร่วมเชิงรุก บอร์ดเกมขนมไทยเขตนบุรีจึงไม่ได้เป็นเพียงนวัตกรรมทางการศึกษา แต่เป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจสร้างสรรค์ที่พร้อมสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ชุมชนนบุรีในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. การเผยแพร่ในศูนย์เรียนรู้ชุมชน โดยนำบอร์ดเกมศึกษาเชิงเจ้าตำรับขนมไทยผิงธนบุรี ไปใช้เป็นสื่อการเรียนรู้หลักในศูนย์วัฒนธรรมเขตนบุรี หรือห้องสมุดชุมชน เพื่อให้คนรุ่นใหม่ได้เข้าถึงประวัติศาสตร์ผ่านกิจกรรมที่สนุกสนาน
2. การบูรณาการในหลักสูตรท้องถิ่น โดยสถานศึกษาในพื้นที่เขตนบุรีและพื้นที่ใกล้เคียงสามารถนำบอร์ดเกมนี้ไปบูรณาการในรายวิชาสังคมศึกษา หรือประวัติศาสตร์ เพื่อสร้างความตระหนักรู้ถึงรากเหง้าวัฒนธรรมที่หลากหลายในท้องถิ่น
3. การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ โดยหน่วยงานภาครัฐและวิสาหกิจชุมชนสามารถใช้บอร์ดเกมนี้เป็นกิจกรรมนำร่องสำหรับนักท่องเที่ยวในเส้นทางวัฒนธรรมย่านธนบุรี เพื่อสร้างความเข้าใจในความหมายของขนมไทยก่อนการลงพื้นที่จริง

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. การขยายผลสู่ระบบดิจิทัล ควรมีการศึกษาและพัฒนาบอร์ดเกมนี้ให้อยู่ในรูปแบบสื่อผสม หรือแอปพลิเคชันที่มีการใช้เทคโนโลยี AR เพื่อเชื่อมโยงการเล่นเข้ากับพื้นที่จริงในชุมชน
2. การศึกษาผลกระทบระยะยาว ควรมีการศึกษาเชิงติดตามผลถึงระดับความรู้และความภูมิใจในวัฒนธรรมของผู้เล่นหลังจากได้สัมผัสวัฒนธรรมในระยะเวลาที่ต่อเนื่อง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการสืบทอดมรดกทางวัฒนธรรมอย่างยั่งยืน
3. การต่อยอดสู่ทุนวัฒนธรรมด้านอื่น สามารถนำกระบวนการออกแบบร่วมกัน ในงานวิจัยนี้ไปปรับใช้กับมรดกวัฒนธรรมด้านอื่นในเขตนบุรี เช่น อาหารคาว หรือสถาปัตยกรรม เพื่อสร้างเครือข่ายฐานข้อมูลวัฒนธรรมที่ครอบคลุม

คำขอบคุณ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาและการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณทุนวิจัย รวมถึงการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมที่เชื่อมโยงกับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม ขอขอบพระคุณ กลุ่มเป้าหมายและคนในชุมชนเขตนบุรี ทั้งผู้นำชุมชน ผู้ประกอบการขนมไทย และกลุ่มคนในชุมชนหิรัญบุรี ภูมิเงิน และเจริญพาสณ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้ข้อมูลเชิงลึกผ่านการสัมภาษณ์ และมีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในกระบวนการออกแบบนวัตกรรม ทำให้บอร์ดเกมศึกษาเจ้าตำรับขนมไทยฝั่งธนบุรี สามารถสะท้อนอัตลักษณ์และมรดกทางวัฒนธรรมได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่านวัตกรรมบอร์ดเกมที่พัฒนาจะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการเผยแพร่และสืบทอดมรดกทางวัฒนธรรมขนมไทยเขตนบุรีสู่กลุ่มคนรุ่นใหม่ เพื่อรักษาภูมิปัญญาของชาติให้คงอยู่สืบไปอย่างยั่งยืน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พลภัทร หัวเพ็ชร. (2567). กระบวนการขับเคลื่อนชุมชนพหุวัฒนธรรม โดยใช้ประวัติศาสตร์ท้องถิ่นเป็นฐาน: กรณีศึกษา ชุมชนภูมิเงิน กรุงเทพมหานคร[วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. TU Digital Repository.
- [2] Khan, I., Melro, A., Amaro, A. C., & Oliveira, L. (2020). Systematic review on gamification and cultural heritage dissemination. *Journal of Digital Media & Interaction*, 3(8), 19–41. <https://doi.org/10.34624/jdmi.v3i8.21934>
- [3] Malegiannaki, I., Daradoumis, T., & Retalis, S. (2021). Using a story-driven board game to engage students and adults with cultural heritage. *International Journal of Game-Based Learning*, 11(2), 1–19. <https://doi.org/10.4018/IJGBL.2021040101>
- [4] Zuljevic, M. (2023). Participatory design in the context of heritage-development: Engaging with the past in the design space of historical landscapes. In *Critical Heritage Studies and the Futures of Europe* (pp. 125-142). <https://doi.org/10.2307/jj.3385987.16>
- [5] Xiang, Y., Chien, C. H., & Zheng, L. (2021). Disseminating intangible cultural heritage through game-based learning and service design. In J. Y. C. Chen & G. Fragomeni (Eds.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Design and Interaction* (pp. 147–161). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77080-8_11
- [6] Rungchareonkiat, D. (2022). Development of Gamification Learning Environment Model Using Design-Based Learning to Enhance Innovative Thinking of Undergraduate Students in Education. *Journal of Research and Curriculum Development*, 12(2), 39-47.
- [7] Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). Greenwood.

ISSN : 2586-8101

ISSN : 2697-6447 (Online)



JSci&Tech
RMUTSB

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร.สุวรรณภูมิ

Journal of Science and Technology **RMUTSB**

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มทร.สุวรรณภูมิ

ชื่อหนังสือ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ (Journal of science and technology RMUTSB)

Print ISSN: 2586-8101

Online ISSN: 2697-6447

เจ้าของ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

วัตถุประสงค์และขอบเขต

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ เป็นวารสารด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ราย 4 เดือน (ปีละ 3 ฉบับ) ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม-สิงหาคม ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน-ธันวาคม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย เรื่องที่จะลงตีพิมพ์ต้องเป็นบทความวิจัย หรือบทความวิชาการ (ภาษาของบทความ ได้แก่ ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ) ที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน และหรืออยู่ระหว่างการรอพิจารณาจากวารสารอื่น รวมทั้งผู้นิพนธ์ต้องไม่ละเมิดหรือคัดลอกผลงานของผู้อื่นหากนำผลงานของผู้อื่นมาใช้จะต้องมีการจัดทำอ้างอิงตามรูปแบบที่วารสารกำหนด บทความที่จะลงตีพิมพ์จะได้รับการพิจารณาลักษณะแบบปกปิด (Double blinded) โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขานั้นๆ จากหลากหลายสถาบัน และไม่อยู่ในสังกัดเดียวกันกับผู้นิพนธ์ ทั้งนี้บทความ ข้อความ ภาพประกอบ และตาราง ที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้นิพนธ์ กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์แต่เพียงผู้เดียว

วารสารนี้ไม่มีค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์ โดยได้รับการสนับสนุนวารสารจาก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ประมุข อุณหเลขกะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุฤติ ตุ่มทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา จันทร์ผา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์ สงค์แสงยศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยชินวัตร

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนภัสส์ คุ่มกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

กองบรรณาธิการ

ดร.อดุลย์ หาญวังมั่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. น้ำอ้อย ปัญญา

ดร.อภิญา อุตระชัย

ดร.วาทธี กันแก้ว

รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย ขวรางกูร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จีระศักดิ์ พุ่มเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครมขญา พุ่มเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชรัตน์ นุชประยูร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ จงสวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยชนะ ใจบุญ

ดร.ชยาคมน์ ปุริมศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปรการเจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ มุกดาสนิท

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท คูศิริรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรินทร์ อุ่มไกร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาณัติ รัตนถิรกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุตาสวรรค์ งามมงคลวงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร. สบสันต์ มหานิยม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์ประภา อินทะหล่อ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศินุพล พิมพ์ปก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก

มหาวิทยาลัยชินวัตร

มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ

มหาวิทยาลัยราชชมงคลล้านนา

ผู้ประสานงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. น้ำอ้อย ปัญญา

สำนักงาน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ เลขที่ 60 หมู่ที่ 3

ถนนสายเอเชีย ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

โทรศัพท์ 035-709095 โทรสาร 035-709095 E-mail: sci@rmutsb.ac.th

สารจากบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ (Journal of science and technology RMUTSB) เป็นวารสารของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ เป็นวารสารด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ราย 4 เดือน (ปีละ 3 ฉบับ) ได้มีการเผยแพร่ฉบับปฐมฤกษ์ในปี พ.ศ. 2560 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอด ผลงานวิจัยและผลงานวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งบทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย โดยไม่เก็บค่าใช้จ่า่ย ทั้งนี้ได้ผ่านการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการ อ้างอิงวารสารไทย หรือ TCI กลุ่มที่ 2 (ผลประเมินคุณภาพวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 5 พ.ศ. 2568-2572)

วารสารฯ ฉบับนี้เป็นเล่มประจำปีี่ 10 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม 2569 ถึง มีนาคม 2569 เป็นฉบับ แรกของปี พ.ศ.2569 ทางวารสารยังมุ่งมั่นพัฒนาคุณภาพทางวิชาการอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ ผลงานวิจัยที่มีมาตรฐาน ในฉบับนี้มีบทความวิจัยจากทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย จำนวน 13 เรื่อง มี เนื้อหาทางวิชาการที่หลากหลายและครอบคลุมศาสตร์ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและ การสื่อสาร วิทยาศาสตร์ประยุกต์ พลศึกษาและวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณิตศาสตร์และสถิติ การศึกษาและ สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับศาสตร์ที่เกี่ยวข้องได้

ในนามของกองบรรณาธิการ ใคร่ขอขอบพระคุณผู้สนับสนุนทุกท่านที่ได้ให้ความสนใจส่งผลงานตีพิมพ์ เผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความ อนุเคราะห์ประเมินคุณภาพบทความมาโดยตลอด และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อ นักวิชาการ นักวิจัยและผู้สนใจทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอเชิญชวนผู้สนใจทุกท่านส่งผลงานตีพิมพ์เผยแพร่บทความ วิจัยและบทความวิชาการลงวารสาร รายละเอียดตามเว็บไซต์ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JSciTech>



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นฤภัสส์ คุ้มกลาง

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความ	หน้า
สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y \cdot q^z = u^2$ ณัฐวัฒน์ สามาอาภัตร์ และสุธน ตาดี	1
การสังเคราะห์วัสดุโครงข่ายโลหะอินทรีย์เพื่อดูดซับสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ พิชญากค์ แสงศรี และวนิดา ชูอักษร	9
การพัฒนาแอปพลิเคชันจองนัดแผนไทย สำหรับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล พงษ์พิพัฒน์ จินต์วงศ์, โอปอ กลับสกุล, และสุพัตรา จินต์วงศ์	25
EFFECTS OF EXTRACTION CONDITIONS ON THE PHYTOCHEMICAL PROFILES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EUPHORBIA HIRTA L. EXTRACT <i>Patimoh Masae, Romalee Chedoloh, and Imron Meechai</i>	42
การประยุกต์เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ในจังหวัดสมุทรปราการ ธิติมา เกตุแก้ว, วิชัย สีแก้ว, และเอกรัตน์ สุขะสุนธร	53
การพัฒนาแอปพลิเคชันอ่านหนังสืออนอมสายตาโดยใช้หลักการโทนสีของแสง ชยาภา พุ่มสมบัติ และขวัญน่าน ประสมทอง	67
การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกาย กรณีศึกษาในกลุ่มวิชาสุขภาพ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ วรการ ใจดี และนรินทร์ จิวิตัน	78
ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักตัวที่มีต่อความแม่นยำในนักกีฬายิงธนู ณรงค์ วิชัยรัตน์ และคณะ	96

สารบัญ (ต่อ)

บทความ	หน้า
OPTIMIZATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY IN CORDYCEPS MILITARIS-ENRICHED FERMENTED RICE WATER <i>Wishanee Matthayom, et al.</i>	109
การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานผ่านคลาวด์เลิร์นนิ่งร่วมกับสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาทักษะ การสร้างสรรค์ชิ้นงานสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 <i>วันดี พันธุ์โท, จรินทร์ อุ่มไกร, และไภยสิทธิ์ อภิระติง</i>	138
ผู้ช่วยฝึกการอ่านออกเสียงภาษาอังกฤษโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ผ่านเทคโนโลยี NVIDIA Riva และ pygame <i>รวินทร์ ไชยสิทธิพร</i>	143
การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำนายความแข็งแรงในการรับน้ำหนักกดทับ ของขวดน้ำดื่มจาก rPET 100% <i>นภธร พูลเพียร</i>	153
การออกแบบและพัฒนานวัตกรรมบอร์ดเกมจากทุนทางวัฒนธรรมชนมไทย แบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเขตธนบุรี <i>กัมปนาท คูศิริรัตน์ และคณะ</i>	167

-
- [8] Pollock, N. (2004). Accounting for tastes: Australian everyday cultures [Review of the book *Accounting for tastes: Australian everyday cultures*, by T. Bennett, M. Emmison, & J. Frow]. *Pacific Affairs*, 77(2), 381–382. <https://doi.org/10.2307/40022552>
- [9] Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. Pfeiffer.
- [10] Freire, P. (1970). *Pedagogy of the oppressed*. Herder and Herder.
- [11] Jacoby, B. (2009). *Civic engagement in higher education: Concepts and practices*. Jossey-Bass.
- [12] Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. McGraw-Hill.
- [13] นันทวัฒน์ ปานสุด, พจน์ธรรม ณรงค์วิทย์, ธนกิจ โคกทอง, อำไพ แสงจันทร์ไทย, ณัฐธิดา ปันจุไร, และพพร เอี่ยมใส. (2566). การออกแบบบอร์ดเกมสร้างการรับรู้การท่องเที่ยวจังหวัดกำแพงเพชร. *วารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, 6(1), 14-25.
- [14] Sanders, E. B. N., & Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *Co-design*, 4(1), 5–18.
- [15] Wenger, E., McDermott, R. A., & Snyder, W. (2002). *Cultivating communities of practice: A guide to managing knowledge*. Harvard Business Press.
- [16] Roscoe, J. T. (1975). *Fundamental research statistics for the behavioral sciences* (2nd ed.). Holt, Rinehart and Winston.
- [17] Hou, Y., Kenderdine, S., Picca, D., Egloff, M., & Adamou, A. (2022). Digitizing intangible cultural heritage embodied: State of the art. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 15(3), 1–25. <https://doi.org/10.1145/3494837>
- [18] Sun, H. Y., & Hashim, M. (2025). Designing serious games for cultural heritage: A framework grounded in critical and experiential theories. *International Journal of Creative Multimedia*, 6(2), 137–164. <https://doi.org/10.33093/ijcm.2025.6.2.7>